

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**ISMAEL FERNANDES EDUARDO FILHO**

**DIMENSIONAMENTO DE UM LEITO DE SECAGEM PARA O LODO GERADO EM  
UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA E ANÁLISE DA VIABILIDADE DE  
DESTINAÇÃO NA SILVICULTURA**

**LONDRINA**

**2022**

**ISMAEL FERNANDES EDUARDO FILHO**

**DIMENSIONAMENTO DE UM LEITO DE SECAGEM PARA O LODO GERADO EM  
UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA E ANÁLISE DA VIABILIDADE DE  
DESTINAÇÃO NA SILVICULTURA**

**SIZING A DRYING BED FOR SLUDGE GENERATED IN A WATER TREATMENT  
STATION AND ANALYSIS OF THE FEASIBILITY OF DESTINATION IN  
SILVICULTURE**

Trabalho de conclusão de curso de graduação  
apresentada como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Química da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).  
Orientador(a): Prof(a). Dr(a) Pricila Marin

**LONDRINA**

**2022**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**ISMAEL FERNANDES EDUARDO FILHO**

**DIMENSIONAMENTO DE UM LEITO DE SECAGEM PARA O LODO GERADO EM  
UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA E ANÁLISE DA VIABILIDADE DE  
DESTINAÇÃO NA SILVICULTURA**

Trabalho de conclusão de curso de graduação  
apresentada como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Química da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 05 de Dezembro de 2022

---

Pricila Marin  
Doutora em Engenharia Química  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Campus* Londrina (UTFPR-LD)

---

Silvia Priscila Dias Monte Blanco  
Doutora em Engenharia Química  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Campus* Londrina (UTFPR-LD)

---

João Ferreira Nunes  
Coordenador da Estação de Tratamento de Água (ETA)  
Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto da cidade de Ibiporã, Paraná (SAMAE)

**LONDRINA**

**2022**

Dedico este trabalho à minha família, que muito me apoiou e me incentivou a realizá-lo.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e a MTA por terem me dado o dom da vida, sabedoria e discernimento para compreender as situações adversas da vida.

Agradeço aos meus pais Magda e Ismael e ao meu irmão Rafael por terem me proporcionado apoio emocional e financeiro durante todos esses anos e nunca mediram esforços para me ajudar nesta etapa de minha vida.

Agradeço a minha namorada Beatriz por ter me apoiado e me incentivado a sempre dar o melhor de mim por mais complexas que as situações estejam.

Agradeço aos meus avós paternos, Maria de Lourdes e Francisco (*in memoriam*), e maternos, Maura e Jair (*in memoriam*), por terem contribuído pela pessoa que sou hoje.

Agradeço a minha orientadora Prof.(a) Dr.(a) Pricila Marin, pela sabedoria com que me guiou nesta trajetória.

Aos meus colegas de sala que sempre apoiaram nos estudos nos longos períodos que permanecemos juntos durante o curso.

Provavelmente não foi possível agradecer todas as pessoas que fizeram parte desta conquista, por isso, tenho gratidão a todos que contribuíram direta e indiretamente durante todo esse período.

## RESUMO

Os resíduos gerados em uma estação de tratamento de água, denominados de lodo, provêm, em sua maioria, da etapa de decantação e podem ser utilizados como matéria-prima para diversas finalidades. Neste sentido, o presente trabalho tem como objetivos o dimensionamento de um leito de secagem para o lodo gerado na Estação de Tratamento de Água (ETA) do Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto (SAMAE) da cidade de Ibiporã, Paraná, e a proposta de uma alternativa para a sua destinação final. Para tanto, estimou-se o volume de lodo gerado na ETA, analisou-se em laboratório os parâmetros físicos do lodo e, a partir de referências bibliográficas, identificou-se a composição de macro e micronutrientes que são, comumente presentes no lodo de uma ETA. A partir das análises, verificou-se a viabilidade de destinação do lodo para a área da silvicultura. Os resultados para dimensionamento do leito de secagem indicam que, devido ao espaço físico disponível na empresa, este processo é viável quando realizado em bateladas e que, neste caso, seria necessária uma área aproximada de 300 m<sup>2</sup> com 1,5 metros de profundidade. Após as análises físicas, observou-se que o pH do lodo é próximo de 7, que a umidade fica em torno de 89,8% e que o teor de sólidos totais representa 10,2% da amostra. Tais resultados são interessantes para a aplicação na silvicultura. Em relação às concentrações de macro e de micronutrientes, a comparação com estudos da literatura indicou que o ideal é que seja adicionado um substrato ao lodo. Conclui-se, portanto que, após a adição do substrato, o lodo de ETA pode ser destinado com sucesso na silvicultura, uma vez que, sua composição possui os componentes necessários para esta disposição final.

Palavras-chave: resíduo; disposição final; nutrientes.

## ABSTRACT

The waste generated in a water treatment plant, called sludge, comes mostly from the decantation stage and can be used as raw material for various purposes. In this sense, the present work aims to design a drying bed for the sludge generated at the Water Treatment Station (ETA) of the Autonomous Municipal Water and Sewage Service (SAMAE) in the city of Ibitiporã, Paraná, and the proposal of an alternative for its final destination. For this purpose, the volume of sludge generated in the ETA was estimated, the physical parameters of the sludge were analyzed in the laboratory and, based on bibliographical references, the composition of macro and micronutrients that are commonly present in the sludge of a ETA. Based on the analyses, the feasibility of disposing of the sludge for the forestry area was verified. The results for sizing the drying bed indicate that, due to the physical space available in the company, this process is feasible when carried out in batches and that, in this case, an area of approximately 300 m<sup>2</sup> with a depth of 1.5 meters would be required. After the physical analyses, it was observed that the pH of the sludge is close to 7, that the humidity is around 89.8% and that the total solids content represents 10.2% of the sample. Such results are interesting for application in forestry. Regarding the concentrations of macro and micronutrients, the comparison with studies in the literature indicated that the ideal is to add a substrate to the sludge. Therefore, it is concluded that, after the addition of the substrate, the ETA sludge can be successfully destined for forestry, since its composition has the necessary components for this final disposal.

Keywords: residue; final disposition; nutrients.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1 - Fluxograma geral do processo de tratamento de água convencional com tratamento de lodo correspondente.....</b>	<b>16</b>
<b>Figura 2 - Fluxograma indicando as etapas de geração de resíduos da ETA do SAMAE .....</b>	<b>19</b>
<b>Figura 3 - Disposição final lodo ETA.....</b>	<b>22</b>
<b>Figura 4 - Modelo esquemático de um adensador de lodo por gravidade .....</b>	<b>24</b>
<b>Figura 5 - Modelo de estrutura de leito de secagem .....</b>	<b>25</b>
<b>Figura 6 - Decantadores da ETA da SAMAE - Ibiporã .....</b>	<b>38</b>
<b>Figura 7 - Amostras de lodo (a) logo após a coleta; (b) secas após as análises de sólidos.....</b>	<b>38</b>
<b>Figura 8 - Sugestão da área do leito de secagem.....</b>	<b>42</b>
<b>Figura 9 - Relação do pH do solo com a disponibilidade de nutrientes .....</b>	<b>45</b>



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros médios da água bruta para um período sem precipitação de chuva e para o mês de março de 2022 .....	39
Tabela 2 - Parâmetros operacionais da ETA para o mês de março de 2022 .....	40
Tabela 3 - Parâmetros para estimativa do leito de secagem .....	41
Tabela 4 - Análise de viabilidade econômica leito de secagem. ....	42
Tabela 5 - Resultados dos parâmetros do lodo da ETA.....	39
Tabela 6 - Análises físicas de acordo com diversos autores .....	43
Tabela 7 - Resultados das análises de macro e micronutrientes para lodo de ETA.....	44
Tabela 8 - Concentração de substratos em cada tratamento proposto .....	47
Quadro 1 - Concentrações máximas e carga acumulada teórica permitidas para substâncias inorgânicas em lodo de esgoto ou produto derivado .....	21
Quadro 2 - Concentrações limite para a presença de agentes patogênicos em lodo de esgoto ou produto derivado .....	21
Quadro 3 - Vantagens e desvantagens de uso de leito de secagem no tratamento de resíduos de ETA.....	26

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
EUA	Estados Unidos da América
IFMG-SJE	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais Campus São João Evangelista.
NBR	Normas Brasileiras
NMP	Número Mais Provável
NPK	Fertilizante composto por Nitrogênio, Fósforo e Potássio
PAC	Policloreto de Alumínio
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
SAMAE	Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto
SEMA	Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Paraná
SST	Sólidos Solúveis Totais
UFF	Unidade Formadora de Foco
UFP	Unidade Formadora de Placa

## LISTA DE SÍMBOLOS

L	Litros
s	Segundos
mg	Miligrama
kg	Quilograma
ha	Hectare
g	Gramma
m <sup>3</sup>	Metro cubico
N	Nitrogênio
P	Fósforo
pH	Potencial Hidrogeniônico
O	Oxigênio
uT	Unidade de Turbidez
uH	Unidade de Cor
m	Metro
m <sup>2</sup>	Metro Quadrado
S	Massa de sólidos secos precipitada por volume de água tratada
C	Cor da água bruta
T	Turbidez da água bruta
D	Dosagem de coagulante
$k_1$	Relação entre sólidos suspensos totais e turbidez
$k_2$	Relação estequiométrica na formação do precipitado de hidróxido e depende do coagulante utilizado
$M_s$	Massa de sólidos por unidade de tempo
$n$	Eficiência
Q	Vazão de água tratada
A	Área total do leito
V	Volume anual de lodo gerado na estação
$np$	Número de aplicações por ano
h	Profundidade útil do leito de secagem
dm <sup>3</sup>	Decímetro cúbico

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>15</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivos específicos</b> .....	<b>15</b>
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>16</b>
<b>3.1</b>	<b>Estações de Tratamento de Água</b> .....	<b>16</b>
3.1.1	Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto – SAMAE .....	17
<b>3.2</b>	<b>Lodo gerado no processo de tratamento de água</b> .....	<b>19</b>
<b>3.3</b>	<b>Tratamento e destinação do lodo gerado na estação de tratamento de água</b> .....	<b>22</b>
3.3.1	Adensamento .....	23
3.3.2	Leito de secagem .....	24
3.3.3	Destinação final do lodo .....	26
3.3.3.1	Cimento Portland.....	27
3.3.3.2	Indústria Cerâmica .....	28
3.3.3.3	Cultivo de grama comercial .....	29
3.3.3.4	Compostagem .....	30
3.3.3.5	Construção civil .....	30
3.3.3.6	Silvicultura.....	31
3.3.3.6.1	<i>Matéria orgânica</i> .....	32
3.3.3.6.2	<i>Teores de macro e micronutrientes</i> .....	33
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>36</b>
<b>4.1</b>	<b>Estimativa da quantidade de lodo gerada</b> .....	<b>36</b>
<b>4.2</b>	<b>Proposta de leito de secagem e adensador</b> .....	<b>37</b>
<b>4.3</b>	<b>Análises dos parâmetros físicos</b> .....	<b>37</b>
<b>4.4</b>	<b>Análises de macro e micronutrientes</b> .....	<b>37</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>38</b>
<b>5.1</b>	<b>Estimativa da quantidade de lodo gerada</b> .....	<b>38</b>
<b>5.2</b>	<b>Proposta de leito de secagem e adensador</b> .....	<b>40</b>
<b>5.3</b>	<b>Análises dos parâmetros físicos</b> .....	<b>43</b>
<b>5.4</b>	<b>Análises de macro e micronutrientes</b> .....	<b>45</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>49</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>50</b>
	<b>APÊNDICE</b> .....	<b>58</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A Assembleia Geral das Nações Unidas, em julho de 2010, aprovou a Resolução A/64/292, a qual reconhece que o acesso à água potável e ao saneamento é um direito humano (UNITED NATIONS, 2010). Sendo assim, manifestou-se uma concepção no que diz respeito ao acesso coletivo a tais serviços, gerando novos estímulos e possibilidades para administradores e especialistas de temas relacionados à água.

Segundo o Plano Nacional de Saneamento Básico do Ministério de Desenvolvimento Regional do Governo Federal Brasileiro (BRASIL, 2019), somente 59,9% da população brasileira tem acesso ao atendimento adequado do abastecimento de água potável. Para garantir a potabilidade deste recurso e distribuí-lo à população, é necessário que a água captada em corpos hídricos, chamada de água bruta, passe por um conjunto de procedimentos físicos e químicos que são realizados em Estações de Tratamento de Água (ETAs).

Em 2013 o Brasil possui cerca de 7.500 ETAs planejadas, em sua maior parte, com fases completas, que englobam coagulação, floculação, decantação e filtração (ACHON et al., 2013).

Após a realização das etapas necessárias para garantir a potabilidade da água, as estações de tratamento acabam gerando, conseqüentemente, alguns resíduos. Estes podem ser de diversas categorias, variando de acordo com o tipo de processo aplicado. Em concordância com Ribeiro (2007), o sistema de tratamento mais aplicado é o denominado convencional, que produz dois tipos de resíduos: a água de lavagem dos filtros e o lodo gerado nos decantadores.

Conforme Richter (2001), entende-se como lodo de uma ETA, o resíduo formado de água e sólidos suspensos inteiramente oriundos da captação de água bruta. O autor cita, ainda, que as principais fontes dos lodos da estação se concentram na fase de decantação e na lavagem dos filtros.

A Lei nº 12.305/2010 da Subchefia para Assuntos Jurídicos da Casa Civil institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS – e define resíduos e rejeitos, onde o resíduo pode ser reutilizado e reciclado. O lodo de ETA se encaixa como resíduo sólido e, dessa forma, precisa ser gerenciado seguindo as premissas da PNRS (BRASIL, 2010).

Embora as leis atuais exijam o tratamento apropriado do lodo precedentemente ao descarte final, esta não é, segundo Frota (2020), a realidade constatada na maioria das estações de tratamento. De acordo com o autor, grande parte destina seus resíduos ao curso de água mais próximo, geralmente a própria fonte da água bruta.

É válido ressaltar que, como consequência da disposição final de lodo da ETA nos corpos hídricos, pode ocorrer a elevação da massa de sólidos, da cor e da turbidez da água, ocasionando, dessa forma, a diminuição da penetração de luz e, podendo gerar um decréscimo da ação fotossintética e da concentração de oxigênio dissolvido, além do assoreamento e da elevação da concentração do metal utilizado no processo de coagulação no tratamento da água, podendo ser alumínio, ferro, dentre outros (LIBÂNIO, 2010).

Dessa forma, vários estudos têm avaliado a possibilidade de aproveitamento do lodo das ETAs para diferentes finalidades, tais como aplicações na produção de cimento Portland (HOPPEN et al., 2006; MEGDA et al., 2005; ARAÚJO et al., 2015), na construção civil (MEGDA et al., 2005; SALES; SOUZA, 2005; COSTA, 2011), na indústria cerâmica (MEGDA et al., 2005; PINHEIRO et al., 2014; VITORINO et al., 2009), no incremento em barreiras impermeabilizantes de aterro sanitário (GONÇALVES et al., 2017), e em usos agrícolas (TEIXEIRA et al., 2005; BITTENCOURT et al., 2012; LUCON, 2012).

Sendo assim, o trabalho tem como objetivo dimensionar um leito de secagem que armazena o lodo e, posteriormente, avaliar a viabilidade de disposição final na área da silvicultura.

## **2 OBJETIVOS**

O presente trabalho tem como principais objetivos o dimensionamento de um leito de secagem capaz de acomodar o lodo gerado no decantador da Estação de Tratamento de Água (ETA) do Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto (SAMAE) da cidade de Ibiporã, Paraná, e analisar a possibilidade de destinação deste para a silvicultura.

### **2.1 Objetivos específicos**

Os objetivos específicos do trabalho são abordados nos tópicos a seguir.

- Calcular do volume de lodo gerado no decantador da ETA SAMAE.
- Realizar o dimensionamento de leito de secagem com base na quantidade de lodo gerado.
  - Analisar experimentalmente os parâmetros físicos do lodo e comparar com dados da literatura.
  - Analisar, por meio de referências bibliográficas, a composição comum deste tipo de lodo em relação aos macros e micronutrientes.
  - Propor soluções alternativas de disposição final do lodo de ETA, considerando sua característica e viabilidade.

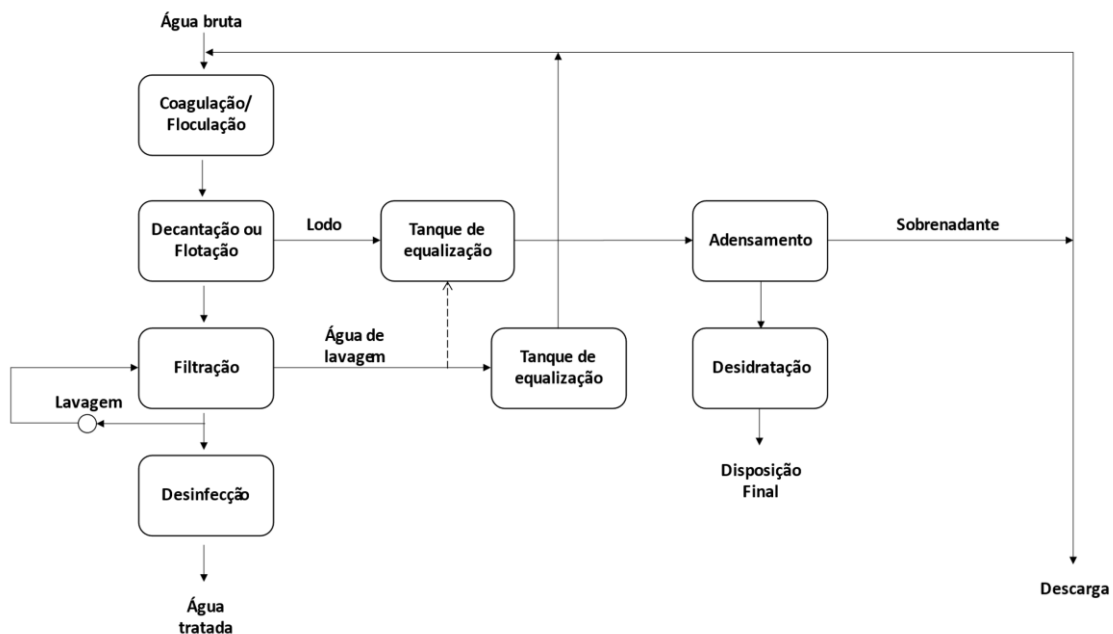
### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Estações de Tratamento de Água

A potabilização das águas naturais tem como objetivo o abastecimento coletivo da população e, para isso, a água bruta deve passar por uma Estação de Tratamento de Água (ETA), onde será submetida a operações capazes de adequá-las ao padrão de potabilidade vigente. A maioria das ETAs seguem o tratamento convencional da água, que consiste em processos de coagulação, floculação, decantação e filtração para a água clarificada, seguida de desinfecção e fluoretação, e em alguns casos, correção de pH (BOTERO et al., 2009).

Na Figura 1, é apresentado um fluxograma geral de processos de uma estação de tratamento convencional, com a destinação do lodo oriundo da etapa de decantação ou flotação (RICHTER, 2001). Após a figura, tem-se a descrição de cada etapa.

**Figura 1 - Fluxograma geral do processo de tratamento de água convencional com tratamento de lodo correspondente.**



**Fonte: Richter (2001).**

O processo de tratamento de água convencional se inicia com a chegada da água bruta. Nas primeiras etapas, a água é destinada à coagulação seguida de floculação. Na coagulação, ocorre a adição de coagulantes químicos, como o sulfato



de alumínio e o cloreto férrico, para que ocorra a desestabilização das partículas presentes na água. Após adição do coagulante, necessita-se de agitação rápida para a mistura do coagulante na água bruta e, depois, agitação lenta, para que as partículas formadas se aglomerem e fiquem mais pesadas, formando flocos, que facilitam a etapa de decantação.

A etapa de decantação consiste em separar, por gravidade, os flocos formados na etapa de floculação e, normalmente, acontecem em tanques retangulares. Nesta etapa, o efluente mais concentrado é separado da água clarificada, onde a água clarificada segue para o processo de filtração, enquanto o lodo segue para o primeiro tanque de equalização.

A etapa de filtração consiste, basicamente, na passagem da água através de um leito poroso, instalado sobre um sistema de drenagem e que é capaz de reter e remover impurezas. Nesta etapa, a água de lavagem dos filtros também é considerada como um efluente que, caso esteja com um aspecto mais concentrado, pode ser enviado para o mesmo tanque de equalização do lodo, ou ainda, para um segundo tanque de equalização, que o destinará novamente para a entrada do processo, misturando-se com a água bruta na chegada. Ainda, caso a vazão de entrada de água bruta esteja no limite para o tratamento, o efluente da filtração pode ser destinado aos corpos hídricos.

A água filtrada segue, então, para a etapa de desinfecção, que tem como objetivo eliminar microrganismos patogênicos que podem transmitir doenças. Posteriormente é encaminhado para a etapa de fluoretação, que visa adicionar flúor à água potável com o objetivo de reduzir a incidência de carie dentária na população. Após esta etapa, a água tratada estará pronta para distribuição.

Com as misturas da água de lavagem dos filtros e o lodo oriundo do decantador, o primeiro tanque de equalização destinará seu efluente para o processo de adensamento, no qual o sobrenadante poderá voltar para o início do processo de tratamento ou ser destinado aos corpos hídricos. Já o lodo adensado seguirá para o processo de desidratação e disposição final.

### 3.1.1 Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto – SAMAE

O Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto - SAMAE - é uma autarquia municipal que tem como objetivo a distribuição de água tratada e a coleta de esgoto, assim como a operação, manutenção e desenvolvimento dos sistemas de água e

esgoto da cidade, sendo responsável pelo abastecimento de água potável na cidade de Ibiporã, Paraná.

Toda a água disponibilizada pelo SAMAE é tratada, clorada, fluoretada e atende aos parâmetros da Portaria nº 888/2021 do Ministério da Saúde. O serviço de abastecimento de água atinge 100% dos prédios existentes e a rede coletora de esgotos atinge mais de 96%.

A estação de tratamento de água do SAMAE foi fundada em 1968 e, atualmente, trata uma vazão aproximada de 290 L/s, sendo 180 L/s coletados do Rio Jacutinga e 110 L/s oriundos do Aquífero Guaraní. A água bruta proveniente do Rio Jacutinga é tratada na ETA por um ciclo completo de tratamento convencional, composto por dois flocladores mecânicos e três hidráulicos, três decantadores e cinco filtros rápidos que promovem as etapas de coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção e fluoretação.

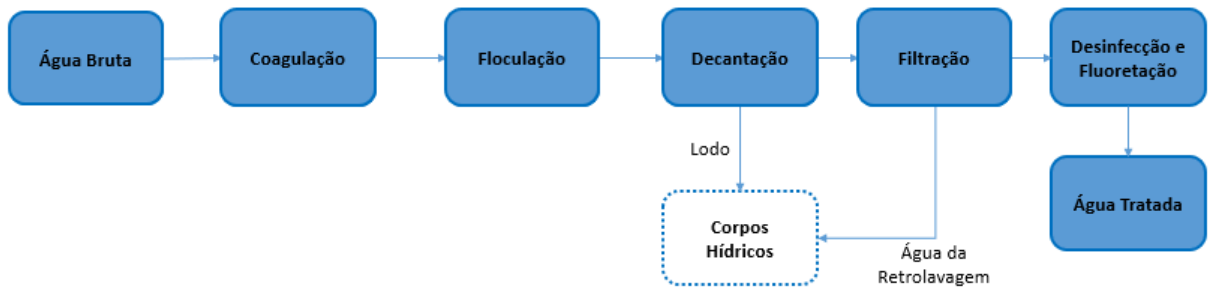
No SAMAE, o coagulante adicionado à água bruta é o sulfato de alumínio, que provoca a desestabilização das partículas para que, em seguida, a água seja destinada aos dois flocladores mecânicos e, posteriormente, ao hidráulico, para se aglomerarem. Após, a água segue para a etapa de decantação, onde as partículas aglomeradas sedimentam-se e formam um lodo no fundo do decantador. Finalmente, a água segue para as etapas de filtração rápida, desinfecção e fluoretação. Neste processo, os estágios formadores de resíduos na ETA são os decantadores e os filtros.

Conforme as características da água bruta, esta pode possuir maior ou menor quantidade de partículas. Com o passar do tempo, conforme essas partículas se depositam no fundo do decantador, este perderá gradativamente sua eficiência e, dessa forma, há a necessidade de realizar uma limpeza no fundo para o descarte do lodo gerado. De forma semelhante, na filtração, as partículas começam a se acumular no leito filtrante, havendo, também, a necessidade de realizar uma retrolavagem.

No decantador do SAMAE, é realizada uma limpeza mensal aplicando jateamento de água para eliminação total do lodo. Já para os filtros, é efetuada uma retrolavagem utilizando água tratada em fluxo ascendente, onde são lavados em um intervalo de, aproximadamente, 24 horas.

Para facilitar o entendimento das operações na ETA do SAMAE, a Figura 2 apresenta um fluxograma simplificado, indicando as etapas de geração de resíduos e a destinação destes nos corpos hídricos.

**Figura 2 - Fluxograma indicando as etapas de geração de resíduos da ETA do SAMAE.**



**Fonte: Autoria própria (2022).**

Como pode ser verificado no fluxograma apresentado pela Figura 2, o lodo oriundo dos decantadores do SAMAE é destinado aos corpos hídricos de maneira legalizada. Por se tratar de uma estação de tratamento de água antiga, a empresa não possui, atualmente, qualquer tipo de tratamento do lodo gerado, porém, visando novas concessões de operação, a empresa busca projetar e adotar um sistema que possa tratar e realizar a disposição final do resíduo gerado. Dessa forma, busca-se soluções para que esse resíduo seja destinado corretamente, podendo trazer ainda, contribuições para o meio ambiente.

### **3.2 Lodo gerado no processo de tratamento de água**

De acordo com Teixeira, et al. (2005), o lodo de uma estação de tratamento de água é um resíduo constituído, basicamente, por areia, silte, argila, substâncias húmicas e poluentes existentes nas águas dos rios.

As características do lodo produzido nas ETAs podem variar de acordo com as características da água bruta, com os produtos químicos aplicados durante o tratamento e com a condição de funcionamento das estações (CORDEIRO, 1999). Conforme Neto (2011), a variação sazonal também influencia bastante na qualidade da água bruta, sucedendo a oscilações na turbidez e assim, modificação nas particularidades do lodo.

As características do lodo de uma ETA também podem variar de acordo com o coagulante empregado no tratamento, os quais podem ser à base de sais de ferro, de policloreto de alumínio (PAC) ou, como o utilizado na ETA SAMAE, de sulfato de alumínio.

O resíduo gerado no processo de decantação de estações de tratamento de água que utilizam como coagulante o sulfato de alumínio ( $Al_2(SO_4)_3$ ) é denominado como lodo de sulfato de alumínio.

Sobre a característica do lodo de sulfato de alumínio, Richter (2001) cita:

O lodo de sulfato de alumínio é um líquido não-newtoniano, gelatinoso, cuja fração de sólidos é constituída de hidróxido de alumínio, partículas inorgânicas, coloides de cor e outros resíduos orgânicos, inclusive bactérias e outros organismos removidos no processo de coagulação. Em geral, o conteúdo de sólidos totais no lodo de tanques de decantação varia entre 1.000 a 40.000 mg/L (0,1 a 4 %) e entre 40 a 1.000 mg/L (0,004 a 0,1%) na água de lavagem dos filtros.

Richter (2001) descreve que, para as aplicações em lagoas, no solo e em aterros sanitários, há a necessidade de diminuição da quantidade de água desse lodo.

Para empresas de saneamento no estado do Paraná, as condições e padrões ambientais para o lodo de esgoto e licenciamento ambiental são estabelecidas por meio da Resolução nº 21/2009 da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Paraná (SEMA). Esta resolução estabelece critérios, procedimentos, premissas, entre outros, para a concessão de licenciamento ambiental de empreendimentos de saneamento que contemplem sistemas de abastecimento de água e sistemas de abastecimento de esgoto (PARANÁ, 2009).

No Quadro 1 são apresentados os níveis máximos e as cargas acumuladas teóricas estabelecidas por essa Resolução para substâncias inorgânicas permitidas em lodo de esgoto, considerando o uso na agricultura no estado do Paraná. No Quadro 2, são indicadas as concentrações limite para a presença de agentes patogênicos no mesmo lodo.

**Quadro 1 – Concentrações máximas e carga acumulada teórica permitidas para substâncias inorgânicas em lodo de esgoto ou produto derivado.**

Substâncias Inorgânicas	Concentração Máxima permitida no lodo de esgoto ou produto derivado (mg/kg, base seca)	Carga acumulada teórica permitida de substâncias inorgânicas pela aplicação do lodo de esgoto ou produto derivado (kg/ha)
Arsênio	41	30
Bário	1300	265
Cádmio	20	4
Chumbo	300	41
Cobre	1000	137
Cromo	1000	154
Mercúrio	16	1,2
Molibdênio	50	13
Níquel	420	74
Selênio	100	13
Zinco	2500	445

Fonte: Resolução SEMA N°21/2009.

**Quadro 2 - Concentrações limite para a presença de agentes patogênicos em lodo de esgoto ou produto derivado.**

Patógenos	Concentração
Coliformes Termotolerantes	<103 NMP / g de ST
Ovos viáveis de helmintos	<0,25 ovo / g de ST
Salmonella	ausência em 10 g de ST
Vírus	<0,25 UFP ou UFF/g de ST

Fonte: Resolução SEMA N°21/2009.

Verifica-se, portanto, que os padrões empregados como restritivos para a aplicação do lodo de esgoto na agricultura são os mesmos aplicados como modelo para outros lodos serem experimentados e, dessa forma, possuem a viabilidade do seu uso agrícola (LUCON, 2012).

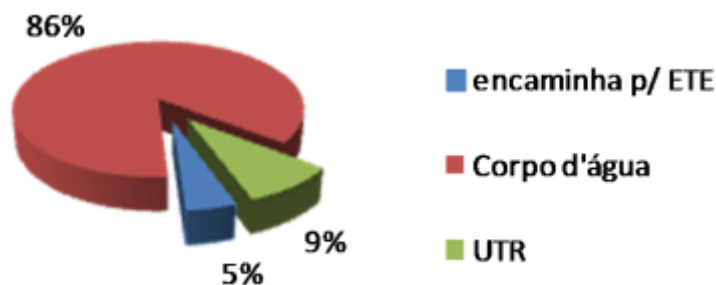
Os resíduos sólidos são classificados quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública. Dessa forma, há a necessidade de realizar o gerenciamento adequado destes resíduos.

O efluente da ETA da SAMAE é classificado, por meio da NBR 10.004/2004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas, como Resíduo Não Inerte Classe II A, caracterizados como aqueles capazes de possuir propriedades de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água. Ainda assim, são resíduos que não se apresentam como inflamáveis, corrosivos, tóxicos, patogênicos, e nem possuem predisposição de sofrer reação química.

### 3.3 Tratamento e destinação do lodo gerado na estação de tratamento de água

O lodo de uma ETA pode ser destinado de várias maneiras, podendo ser em leito de secagem, incineração, encaminhado para a estação de tratamento de esgotos, aplicado como matéria-prima em algumas indústrias, como a de cimento, construção civil, entre outras. No Brasil, o mais comum é a destinação em corpos hídricos. Segundo Achon e Cordeiro (2015), este é o destino de cerca de 86% de todo o lodo gerado, enquanto 9% é destinado à unidades de tratamento de resíduos (UTR) e 5% são encaminhados para estações de tratamento de esgoto, como é apresentado pela Figura 3.

Figura 3 - Disposição final lodo ETA.



Fonte: Achon e Cordeiro (2015).

Para que os resíduos das ETAs brasileiras sejam destinados aos corpos hídricos, mesmo este não sendo o ideal, deve-se seguir padrões para que esse descarte seja feito de forma que não prejudique o meio aquático.

Dessa forma, os efluentes lançados na forma líquida devem seguir as deliberações da Resolução nº 430 de 13 de maio de 2011, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, que designa os padrões e condições de lançamento de efluentes (CONAMA, 2011). Ainda assim, órgãos ambientais questionam essa atividade, justificando que concede riscos à vida aquática.

Diante das recomendações, visando um destino não prejudicial ao meio ambiente, uma das possibilidades de evitar que o lodo seja destinado nos corpos hídricos é a aplicação na silvicultura. No entanto, para esta destinação, fazem-se necessárias algumas etapas de tratamento prévio do lodo vindo do decantador. Tais etapas são descritas na sequência, sendo que, uma das primordiais é a remoção do excesso de água, por meio de uma etapa de adensamento.

### 3.3.1 Adensamento

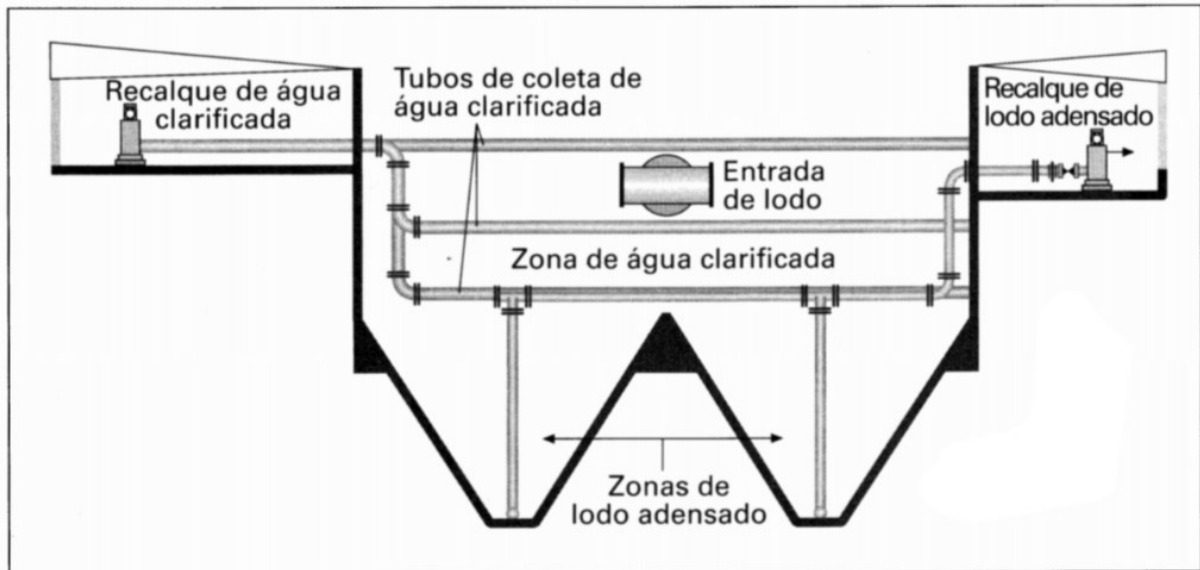
Como primeira etapa do tratamento do lodo proveniente da decantação, tem-se o adensamento do material. O objetivo é reduzir o volume de lodo, aumentando, conseqüentemente, a concentração de sólidos para que, dessa forma, o lodo torne-se mais viável para as posteriores etapas de desidratação.

As opções mais aplicadas para o adensamento de lodo são a flotação e sedimentação, sendo a segunda a mais praticada. Scalize e Di Bernardo (2000) analisaram uma estação de tratamento de água que utiliza sulfato de alumínio como coagulante e apontaram que melhores resultados de adensamento foram obtidos quando se utilizou um polímero, com uma dosagem de aproximadamente 24 g de polímero por kg de Sólidos Solúveis Totais. Dessa forma, o teor de sólidos expressou-se em torno de 0,8 a 1,3%.

De acordo com Richter (2001) os adensadores por batelada recebem uma porção do lodo que é mantido no equipamento por algumas horas até que seja possível a retirada do sobrenadante clarificado. Normalmente, os adensadores por batelada possuem um fundo em forma de cone invertido, com o objetivo de acumular e favorecer a extração do lodo adensado.

A Figura 4 apresenta um modelo esquemático de um adensador estático, no qual o efluente entra pelo centro, permanece por um determinado período e o lodo se adensa no fundo do equipamento e, em seguida, é retirado pelo lado direito por um recalque de lodo adensado. A água clarificada permanece na superfície do equipamento e é retirada pelo recalque de água clarificada do lado esquerdo.

**Figura 4 - Modelo esquemático de um adensador de lodo por gravidade.**



Fonte: Richter, 2001.

### 3.3.2 Leito de secagem

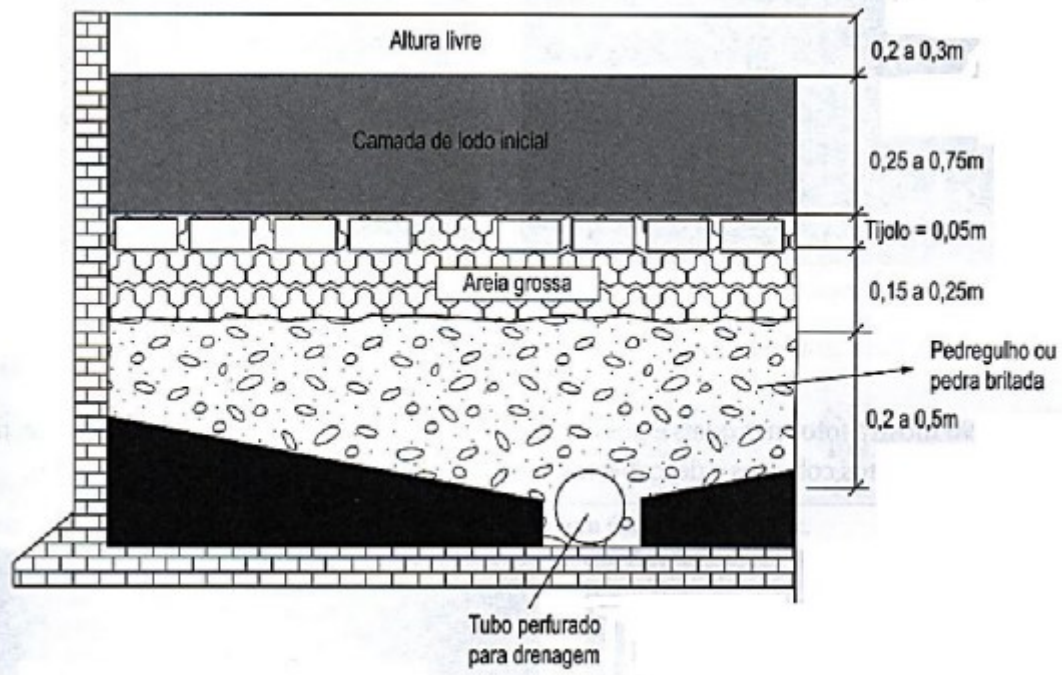
Após o adensamento, o lodo mais concentrado é encaminhado aos leitos de secagem. Esta etapa consiste na desidratação não mecânica, que é fundamentada na decantação, escoamento e evaporação (RICHTER, 2001).

O leito de secagem é uma das técnicas de desidratação de lodos mais antigas e mais utilizadas. Opera baseado em vários princípios, como a drenagem em meio poroso e a evaporação. Quando empregado sem cobertura, necessita-se considerar os indicativos de precipitação da localidade e, onde a precipitação for alta, deve-se descartar essa possibilidade (DI BERNARDO; SABOGAL PAZ, 2008 apud, FROTA, 2020).

A Figura 5 apresenta uma estrutura convencional de leito de secagem segundo Di Bernardo et al. (2012, apud FROTA, 2020), onde a base é composta por pedregulho ou pedra britada e tem como objetivo suportar a camada de areia grossa, além de garantir a percolação contínua em toda área. Usualmente, a largura do leito não deve exceder 10 metros e busca-se permanecer uma razão comprimento/largura igual a 2. Ainda assim, os autores relatam que a profundidade total do leito, esporadicamente, ultrapassa 1,5 metro.



**Figura 5 - Modelo de estrutura de leito de secagem.**



**Fonte: Di Bernardo e Sabogal Paz (2008, apud FROTA, 2020).**

Di Bernardo et al. (2012, apud FROTA, 2020) destacam que a temperatura, umidade do ar, viscosidade do lodo e ação dos ventos são parâmetros fundamentais neste tipo de tecnologia. É desejado que, para lodos com teores de sólidos suspensos totais entre 1,5 e 3,0%, consiga-se alcançar um lodo desaguado com teores de sólidos suspensos totais de 15 a 20% (DI BERNARDO; SABOGAL PAZ, 2008 apud, FROTA, 2020).

No Quadro 3 são apresentadas as vantagens e desvantagens da utilização de leitos de secagem no tratamento de resíduos de ETA, de acordo com Sabogal Paz (2007, apud FROTA, 2020).

**Quadro 3 - Vantagens e desvantagens de uso de leito de secagem no tratamento de resíduos de ETA.**

<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
1. As unidades normalmente requerem baixo investimento inicial, comparadas às lagoas de lodo;	1. Pode apresentar problemas de entupimento do material filtrante;
2. As atividades de operação e manutenção não requerem pessoal qualificado;	2. Os leitos necessitam de maior área de implantação, comparado aos métodos mecânicos de desaguamento;
3. Os leitos não apresentam consumo de energia;	3. O lodo não pode ser armazenado indefinidamente no leito, assim, deve ser removido para o local de disposição ou de aproveitamento. A atividade de retirada do resíduo pode exigir intenso trabalho;
4. As unidades geralmente dispensam o uso de produtos químicos no tratamento;	4. O tratamento de resíduos com concentrações altas de matéria orgânica pode precisar de estabilização antes do desaguamento;
5. Os leitos podem gerar um alta concentração de sólidos se as características da região forem favoráveis;	5. O projeto da unidade requer conhecimento prévio do clima da região.
6. As unidades permitem a recuperação de água clarificada, que pode ser utilizada no início do tratamento, caso seja prevista essa atividade;	
7. Os leitos são indicados para pequenas ETA, usualmente, com capacidade inferior a 200 L/s;	
8. As unidades têm baixa sensibilidade às variações quantitativas e qualitativas do lodo.	

**Fonte: Sabogal Paz (2008, apud FROTA, 2020).**

### 3.3.3 Destinação final do lodo

Após o período pré determinado de secagem do lodo, o mesmo pode ser disponibilizado em diversas aplicações. Reali e Patrizzi (1999) analisaram que, para a disposição correta do lodo, é indispensável realizar um levantamento de viabilidade econômica, técnica e ambiental apropriado para cada caso, recomendando-se algumas alternativas:

a) Disposição em aterros sanitários: essa maneira de disposição resume-se no transporte e finalidade do lodo em aterros sanitários, para esse fim recomenda-se analisar a concentração de sólidos existentes no lodo;

b) Co-disposição com bio-sólidos: o gerenciamento associado dos lodos das ETAs e dos bio-sólidos produzidos em estações de tratamento de esgoto deve ser bastante benéfico, essa combinação pode ser disposta de modo direto em solos ou empregados no preparo de compostos fertilizantes;

c) Disposição controlada em certos tipos de solos: recomenda-se observar as circunstâncias de impactos negativos no solo;

d) Aplicações industriais diversas: São capazes de serem aplicadas na fabricação de tijolos ou outros materiais de construção, onde depende-se das características do resíduo.

e) Incineração dos resíduos: Essa forma de disposição apresenta elevado custo, ademais de resultarem na formação de cinzas que também precisam de destinação adequada.

Megda et al. (2005) apontam a aplicação do lodo com propósitos agrícolas, cultivo de grama comercial, produção de cimentos. Salientam, ainda, que a incorporação de lodo das ETAs na compostagem tem apresentado determinadas vantagens como ajuste de umidade, provimento de indicações minerais, ajuste de pH e atendendo como material para o acréscimo do volume do composto.

Hoppen (2006) cita que alguns metais como o cobre, zinco, níquel, chumbo, cádmio, manganês e alumínio, existentes no lodo de ETA, apresentam ações tóxicas quando estiverem em valores de alta concentração, sendo capaz de mostrar pontos negativos dependendo dos métodos de tratamento, na disposição final e, inclusive, no reaproveitamento destes resíduos.

Na sequência são abordadas algumas possíveis aplicações para o lodo proveniente das ETAs: na produção de cimento Portland, na indústria cerâmica, no cultivo de grama comercial, na compostagem, na construção civil e na silvicultura.

#### 3.3.3.1 Cimento Portland

O cimento Portland é a denominação convencionalmente globalmente para o material usado na construção civil como cimento. Esse material é um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob ação de água. Os cimentos Portland, quando misturados com água e outros materiais de construção, resultam nos concretos e nas argamassas utilizadas na construção de casas, edifícios, pontes, barragens, etc. (DUARTE, 2017).

A aplicação de lodos de ETAs na produção de cimento Portland é executada com êxito por companhias de saneamento nos EUA. Na produção do cimento, os materiais frequentemente empregados são o calcário, xisto e argila, sendo o calcário correspondente a cerca de 70 a 80% do material bruto, ainda assim, com pequenas concentrações de ferro, sílica e alumínio. Para aumentar a concentração destes

minérios, são incorporados ao processo argila, xisto, minério de ferro e bauxita (MEGDA et al., 2005).

A utilização do lodo para essa aplicação possui aspectos positivos e negativos. Dentre os positivos pode-se citar que o lodo já contém todos os elementos que são adicionados no decorrer do processo de produção do cimento. Por esse motivo, o lodo é inserido na etapa de pré homogeneização das matérias-primas. Ainda assim, indicam que o teor de sólidos para essa aplicação é de no mínimo 50%, sendo que, valores menores prejudicam a qualidade do cimento. Ainda que a presença de óxidos de potássio e de sódio no lodo diminuem consideravelmente as concentrações de álcali no cimento, o que é desejável, uma vez que, concentrações de álcali elevadas podem causar expansão e fissuras em estruturas de concreto. Como aspectos negativos, pode-se mencionar que altas concentrações de matéria orgânica, antracito ou carvão ativado, sulfato, permanganato de potássio e metais pesados no lodo podem comprometer, ou até mesmo inviabilizar, a utilização na produção de cimento (MEGDA et al., 2005).

Segundo Hoppen (2006), tal aplicação pode contribuir para a redução do impacto ambiental, pode oferecer como vantagem o decréscimo de agregados naturais e do cimento, visto que o setor gasta entre 14 e 50% de todos os recursos naturais retirados do planeta e que, só no Brasil, em 2000, foi estabelecido uma utilização anual da ordem de 210 milhões de toneladas de agregados. Os autores ainda concluem que, independentemente de decorrerem diminuições na qualidade do concreto com a integração do lodo de ETA com teores de 4 a 8% (p/p), seu aproveitamento como meio de disposição final pode ser reputado como viável técnica e ambientalmente.

### 3.3.3.2 Indústria Cerâmica

A indústria cerâmica abrange diversos materiais que são, constantemente, utilizados na construção civil, como telhas, tijolos, blocos, entre outros, além disso, pode estar presente em filtros e painéis de barro. No Brasil, a maioria de cerâmica vermelha é fabricada por empreendimentos de pequenos e médios portes. Servindo a construção civil de maneira geral, as organizações encontram-se localizadas por todo o país (SEBRAE, 2015).

Um importante conceito dessa indústria é a sustentabilidade, que ocorre por meio de práticas, políticas e produtos que possuem precauções e atividades que

respeitam e fortalece o meio ambiente, o desenvolvimento econômico, o aprimoramento humano e a responsabilidade social (ANICER, 2020).

As propriedades físicas e químicas de lodos de ETAs são, frequentemente, semelhantes às propriedades dos materiais utilizados na produção de tijolos, pois indicam características similares à argila natural e xisto aplicados na fabricação destes materiais. Dessa forma, utilizando os lodos gerados na ETA, pode-se diminuir a quantidade de argila na fabricação de tijolos, e, portanto, estender a vida útil das jazidas naturais. Os lodos mais aconselhados para a produção de tijolos são compostos de argila, silte, areia, coagulantes e matéria orgânica. Devem possuir, ainda, um teor de umidade ideal, pois um lodo com elevada umidade pode prejudicar o andamento dos componentes de fabricação, fechando passagens ou aderindo-se às partes do sistema. Outro ponto importante é a granulometria do lodo, que deve ser semelhante à da argila. Como aspectos negativos que devem ser salientados, pode-se citar que a presença de cal no lodo compromete a qualidade do tijolo produzido e que a presença de carvão ativado inviabiliza sua aplicação, pois causa expansão e, por consequência, rachaduras no tijolo (MEGDA et al., 2005).

Segundo Vitorino et al. (2009), os resíduos de ETA são capazes de aperfeiçoar o processo cerâmico, a propriedade e, além disso, colaborar para a diminuição do gasto energético na etapa de queima.

Pinheiro et al. (2014) concluíram que é recomendável que o resíduo seja adicionado às massas argilosas empregadas na indústria de cerâmica vermelha em proporções controladas em virtude de seu alto valor de limite plástico.

### 3.3.3.3 Cultivo de grama comercial

O cultivo de grama comercial compreende grama para jardinagem, campos para atividades esportivas, parques, cemitérios e jardinagens de rodovias e, habitualmente, são realizadas em 5 estágios: elaboração do solo, semeadura, desenvolvimento da grama, colheita e carregamento. Para esta aplicação, os lodos das ETAs podem ser utilizados na fase líquida ou após a sua desidratação, sendo empregados tanto na etapa de preparação do solo, quanto na fase de crescimento da grama. Com esta finalidade, devem ser levados em consideração a concentração de metais no solo, a absorção de nutrientes, assim como o teor de sólidos. A aplicação de lodo da ETA no cultivo de gramas aumenta a aeração e a capacidade de retenção

de líquido no solo, provendo nutrientes complementares às plantas (MEGDA et al., 2005).

#### 3.3.3.4 Compostagem

A compostagem é um método de reutilização de resíduos orgânicos que se constitui na decomposição biológica do material. O método pode ser aplicado em grande, média e pequena escala. Ainda assim, esse processo representa uma alternativa econômica e sustentável que auxilia os municípios a fornecer uma destinação adequada ao resíduo produzido (ALMANÇA, 2020).

Em conformidade com Megda et al. (2005), pesquisas vêm sendo realizadas visando a utilização de lodo das ETAs em compostagem, aplicando-se sistema de leiras, em conjunto com restos vegetais, despojos sólidos domésticos e biossólidos. Os autores concluem que a incorporação de lodos de ETAs na compostagem traz alguns benefícios, como a regulagem da umidade, o provimento de traços minerais, o ajuste de pH necessário ao processo, bem como, o acréscimo do volume de composto.

#### 3.3.3.5 Construção civil

A construção civil é um segmento da engenharia civil que abrange projeto, manutenção e construções ambientais. Ainda assim, a construção civil pode atuar no planejamento de estações de tratamento de esgotos, barragens, túneis, ferrovias, entre outros (PAIXAO, 2022).

Pode-se pensar em uma estratégia de aplicar o lodo gerado nas ETAs agregando aos resíduos provenientes da construção civil, diminuindo, assim, os impactos ambientais produzidos nesses dois âmbitos.

Sales e Souza (2005) descrevem um procedimento de elaboração de compósito à base de lodo das ETAs, serragem e água que possa ser utilizado em concreto leve em substituição à pedra brita. O autor conclui que é possível obter-se um compósito com densidade de 550 a 700 kg/m<sup>3</sup> e características mecânicas próprias para o uso final pretendido.

Por se tratar de um material com pH aproximadamente neutro, baixos valores de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e altos valores de sólidos totais, o lodo das ETAs possui enorme flexibilidade em sua destinação, principalmente quando

aplicado em conjunto com solo e/ou cimento. Um emprego que se beneficia dessas propriedades é a integração do lodo ao material aplicado para produção de sub-base para pavimentação (COSTA, 2011).

Megda et al. (2005) apresentam as seguintes aplicações visando empregar o lodo das ETAs: concreto para contrapiso, argamassa de assentamento não-estrutural e blocos de concreto não-estrutural. Os autores realizaram estudos adicionando frações de lodo de 5% e 50% em relação à massa da matéria prima base e alcançaram resultados preliminares que indicam os maiores desempenhos foram obtidos quando a faixa de incorporação de lodo seco ficou entre 1% e 5%, comparado ao agregado miúdo. Analisando em termos de resistência mecânica, a inclusão de 3% de lodo em relação ao agregado miúdo natural proporciona a aquisição de concretos com propriedades mecânicas semelhantes às do concreto convencional.

#### 3.3.3.6 Silvicultura

A silvicultura é uma ciência que analisa técnicas capazes de desenvolver a implantação e regeneração dos povoamentos florestais, não levando em conta apenas interesses econômicos, como também sociais, ecológicos e culturais. Entre as atividades econômicas, a silvicultura é possivelmente a que evidencie superior potencial de colaboração para a formação de uma economia verde, podendo realizar a produção de insumos às demais atividades encontrarem a direção da sustentabilidade (VALVERDE, 2012).

Estudos analisam uma alternativa viável para a utilização do lodo de ETA na produção de mudas florestais, visto que o material apresenta constituintes fundamentais ao crescimento e evolução de vegetais (MACHADO, 2004).

Diversas matérias-primas são indispensáveis para a fabricação de solos comerciais, como perlita, areia (peso), calcário, argila bentonita, turfa, fertilizantes (N e P) e lascas de madeira. Vale citar alguns aspectos positivos da utilização de lodos de ETA para esta aplicação, como a mudança de alguns elementos tradicionalmente utilizados na fabricação, por exemplo, a perlita, que tem como objetivo aumentar a aeração do solo, o calcário, que tem como característica reduzir a acidez do solo, e a argila bentonita, que tem como propósito absorver o zinco diminuindo a disponibilidade do mesmo para a planta, conseqüentemente, aumentando a produção de massa seca. Usualmente, para este tipo de aplicação o lodo possui uma

concentração de sólidos de 40% a 60%, caso contrário, sua utilização torna-se inviável (MEGDA et al., 2005).

Lucon (2012) afirma que o lodo da ETA pode ser utilizado como fertilizante, aplicando-os no solo, desde que a concentração acumulada de alumínio seja menor que 25%.

Silva et al. (2005) empregou lodo de ETA em pesquisas de regeneração de área degradada e constatou uma elevação no pH do solo e na quantidade de cálcio e ferro. O autor ainda relata que é possível aplicar o lodo de ETA como fertilizante, pois ele contém certos nutrientes que favorecem o desenvolvimento das plantas como ferro, cálcio, enxofre, magnésio, cobre e manganês.

Teixeira et al. (2005) concluiu, em sua pesquisa, que o lodo de ETA é capaz de ser disposto em áreas degradadas, uma vez que amplia os teores de macronutrientes e o valor de pH do solo. Apesar disso, altas porções podem provocar salinidade do solo, reduzindo a infiltração de água e, conseqüentemente, reduzindo sua fertilidade.

Padilha (2007) estudou a aplicação de lodo de ETA unido com lodo de ETE e concluiu que os tratamentos nos quais houve adição de lodo de esgoto proporcionaram maior evolução do que simplesmente a utilização de lodo de ETA sem resíduos alcalinos, proporcionando acréscimos das características de fertilidade dos solos.

Para verificação da aplicação de lodo de ETA na silvicultura, alguns pontos devem ser observados, como a presença e as características da matéria orgânica, além dos teores de macro e micronutrientes presente no lodo.

#### *3.3.3.6.1 Matéria orgânica*

Cunha et al. (2015) relatam que a matéria orgânica do solo é oriunda de organismos vegetais, da qual sua formação se altera para os variados modelos vegetais, e ainda, difere-se em relação a idade da planta e quanto aos animais presentes no solo.

De acordo com Lucon (2012) o lodo de estação de tratamento de água é composto por aproximadamente 15 a 35 % de matéria orgânica e, no momento em que é inserido no solo, pode acrescentar a matéria orgânica já presente neste.

A matéria orgânica é a indispensável procedência de nitrogênio no solo, o qual possui efeito marcante na sua fertilidade. Ainda que a composição de nitrogênio seja inferior a 5%, sua presença evidencia elevada habilidade de relacionar-se com outras



substâncias, modificando características biológicas, físicas e químicas do solo, colaborando com o desenvolvimento das plantas.

Fisicamente, a matéria orgânica do solo contribui com a sua formação, conservação de água para as plantas e também na sua cor. Já quimicamente, a matéria orgânica coopera com a mineralização de nutrientes, troca de cátions, capacidade de tamponamento e com relação à reação com metais. Além disso, a matéria orgânica favorece biologicamente o fornecimento de fonte de nutrientes e energia para os microrganismos, na atuação enzimática, e também, no crescimento das plantas (CUNHA et al., 2015).

#### 3.3.3.6.2 Teores de macro e micronutrientes

Os nutrientes à disposição das plantas estão presentes nas formas solúveis na solução do solo. A maior parte estão adsorvidos aos colóides ou na fase mineral ou orgânica, como componente vagorosamente disponível. Para diagnosticar a fertilidade de um solo são necessários conhecimentos a respeito da disponibilidade de macro e micronutrientes, dos cátions e dos ânions, da associação entre os nutrientes e das circunstâncias de acidez do meio. Os macronutrientes são o nitrogênio, fósforo, cálcio, magnésio e enxofre. Já os micronutrientes são o boro, cloro, cobre, ferro, manganês, molibdênio, níquel e zinco (SENGIK, 2003).

De acordo com Lucon (2012), a principal importância de cada macronutriente para a aplicação em silvicultura pode ser descrita da seguinte maneira.

- Nitrogênio: fundamental para o processo de síntese da clorofila e está incluído na ação da fotossíntese. A escassez de nitrogênio não admite o aproveitamento da fonte energética solar para a planta realizar a fotossíntese, de modo que a planta abandone a capacidade de desempenhar atribuições primordiais como a absorção de nutrientes. Os teores de nitrogênio nas plantas oscilam entre 2 e 75 g.kg<sup>-1</sup> de matéria seca, de forma que teores entre 20 e 50 g.kg<sup>-1</sup> são satisfatórios para um desenvolvimento natural;
- Fósforo: apresenta uma função fundamental na realização da fotossíntese, depósito e troca de energia, respiração, divisão e crescimento celular, além de outras demandas que acontecem na planta. Quando presente, proporciona uma formação rápida das raízes,

aumenta a qualidade das hortaliças, frutos e grãos, tornando-se indispensável para o desenvolvimento das sementes;

- Potássio: tem grande parcela de contribuição em relação ao potencial osmótico da planta, favorecendo a normalização das ações de abertura e fechamento dos estômatos, além de ser um elemento essencial para a realização da fotossíntese;
- Cálcio: substância fundamental para o desenvolvimento de meristemas e para o desenvolvimento e atividade adequada dos ápices radiculares. Possui o objetivo de proibir danos à membrana celular, impossibilitando a evasão de elementos intracelulares;
- Magnésio: atua como componente estrutural da molécula de clorofila e auxilia na estabilidade dos ácidos nucléicos e membranas. Esse elemento ainda interfere no deslocamento dos carboidratos das folhas para os demais constituintes das plantas e incentiva o recolhimento e carregamento do fósforo na planta;
- Enxofre: contribui com o desenvolvimento de raízes possibilitando seu vigor e robustez, ainda assim, é uma substância fundamental para a formação de aminoácidos, proteínas e clorofila.

Em relação aos micronutrientes, Dechen e Nachtigall (2007) citam alguns pontos importantes a serem observados para a aplicação em silvicultura:

- Boro: possui atribuição fundamental na translocação de açúcares e no metabolismo de carboidrato;
- Cloro: auxilia no processamento de emissão de O<sub>2</sub> na fotossíntese;
- Cobre: motiva a atração de nitrogênio pelas leguminosas;
- Ferro: contribui com as reações químicas fundamentais de oxirredução;
- Manganês: fundamental para a síntese da clorofila e sua escassez pode interferir no desenvolvimento de raízes;
- Molibdênio: em baixos valores contribui negativamente com o funcionamento respiratório das plantas;
- Níquel: em falta nas leguminosas pode ocasionar um aumento de ureia necrosando os folíolos;
- Zinco: indispensável para a realização da atividade proteica.

Diante do exposto, para que possa ser aplicado na silvicultura, o lodo oriundo dos decantadores de ETAs deve possuir, em sua composição, os macros e micronutrientes fundamentais para o desenvolvimento de plantas. Depois de analisar todas as possibilidades de destinação do lodo, este trabalho propõe a destinação na área da silvicultura, devido a possibilidade aumentar o cultivo de plantas nos viveiros da região, colaborar para um crescimento de área verde e contribuir com a economia circular.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

O lodo utilizado neste trabalho foi coletado nos decantadores da Estação de Tratamento de Água (ETA) do Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto – SAMAE, do município de Ibiporã, no estado do Paraná. A coleta foi realizada no mês de setembro de 2022, em um dia com clima predominantemente nublado. As amostras foram acondicionadas em galões de 5 litros, previamente lavados e enxaguados com água destilada, e armazenadas em ambientes com temperatura controlada de aproximadamente 20°C.

### 4.1 Estimativa da quantidade de lodo gerada

A quantidade de lodo produzido na etapa de coagulação foi mensurada pela Equação (1), proposta por Richter (2001).

$$S = (0,2.C + k_1.T + k_2.D)/1000 \quad (1)$$

Na qual:

$S$  = massa de sólidos secos precipitada por volume de água tratada (kg/m<sup>3</sup>);

$C$  = cor da água bruta (uH);

$T$  = turbidez da água bruta (uT);

$D$  = dosagem de coagulante (mg/L);

$k_1$  = relação entre sólidos suspensos totais e turbidez (usualmente usa-se 1,3);

$k_2$  = corresponde a relação estequiométrica na formação do precipitado de hidróxido e depende do coagulante utilizado (para o uso do coagulante sulfato de alumínio, usa-se 0,26).

A massa de sólidos por unidade de tempo pode ser calculada de acordo com a Equação (2), também proposta Richter (2001).

$$Ms = n . S . Q \quad (2)$$

Na qual:

$Ms$  = massa de sólidos por unidade de tempo (kg/mês);

$n$  = eficiência (considerar 100% pela recomendação do autor);

$Q$  = vazão de água tratada (m<sup>3</sup>/mês).

## 4.2 Proposta de leito de secagem e adensador

Para o dimensionamento da área do leito de secagem, Richter (2001) sugere que a Equação (3) pode ser aplicada, de forma que o parâmetro  $np$  varia-se entre 15 e 30, em conformidade com o número de vezes que o leito de secagem é utilizado.

$$A = \frac{V}{np \cdot h} \quad (3)$$

Na qual:

$A$  = Área total do leito ( $m^2$ );

$V$  = Volume anual de lodo gerado na estação ( $m^3$ );

$np$  = número de aplicações por ano;

$h$  = profundidade útil do leito de secagem (m).

## 4.3 Análises dos parâmetros físicos

As análises de sólidos totais, sólidos fixos e voláteis foram realizadas seguindo-se o método 2540G do Standard Methods 23rd. Para análise de pH, seguiu-se a metodologia 4500-H<sup>+</sup> B do Standard Methods 23rd (APHA, 2012). Para análise de umidade, seguiu-se a metodologia padronizada pela norma NBR 6457/2016 (ABNT, 2016). Todas as análises foram realizadas em triplicata.

O detalhamento dos métodos utilizados para as análises é apresentado na seção de Apêndice.

## 4.4 Análises de macro e micronutrientes

As análises de macro e micronutrientes do lodo foram estimadas a partir de revisão bibliográfica. Para tanto, foram analisadas 20 referências bibliográficas, utilizando-se como principais palavras-chave: análises de macro e micronutrientes de lodo de ETA, características do lodo de ETA e lodo de sulfato de alumínio. A busca foi feita considerando-se trabalhos que utilizassem lodos provenientes de tratamento convencional utilizando sulfato de alumínio, semelhantes ao obtido no SAMAE.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A estação de tratamento de água do SAMAE opera com 3 decantadores de aproximadamente 300 m<sup>3</sup> cada. Nas Figuras 6, 7(a) e 7(b) são apresentados os três decantadores da ETA, as amostras de lodo coletadas e as amostras de lodo secas após as análises de sólidos, respectivamente.

**Figura 6 - Decantadores da ETA da SAMAE - Ibiporã.**



Fonte: Autoria Própria (2022).

**Figura 7 - Amostras de lodo (a) logo após a coleta; (b) secas após as análises de sólidos.**



(a)



(b)

Fonte: Autoria Própria (2022).

### 5.1 Estimativa da quantidade de lodo gerada

A quantidade de lodo gerada foi estimada por um período anual, entre o segundo semestre de 2021 e o primeiro semestre de 2022. Para esta estimativa, fez-se necessário uma análise de cor, turbidez e dosagem de sulfato de alumínio em períodos sem precipitação de chuva e, também, em períodos mais chuvosos.

Dentre os meses avaliados, o mês de março de 2022 foi o mais chuvoso e, conseqüentemente, neste mês, houve a maior média nos valores de turbidez e cor da água bruta. Isso gerou, também, a necessidade de uma maior média na dosagem de sulfato de alumínio utilizado.

A Tabela 1 apresenta os valores médios destes parâmetros, estimados para a água bruta em um período sem precipitação e no mês de março.

**Tabela 1 - Parâmetros médios da água bruta para um período sem precipitação de chuva e para o mês de março de 2022.**

Parâmetros	Valores médios	
	Sem precipitação	Março/2022
Turbidez (uT)	20,00	176,26
Cor (uH)	50,00	400,16
Dosagem Sulfato de Alumínio (mg/L)	14,00	22,24

**Fonte: Autoria Própria (2022)**

Observando os resultados apresentados na Tabela 1, verifica-se que os parâmetros turbidez, cor e dosagem de sulfato de alumínio no mês de março foram bem superiores aos obtidos nos períodos mensais sem precipitação de chuva, quando os parâmetros são considerados normais para o manancial onde é realizada a captação da água. Vale ressaltar que em dias de chuva forte, a turbidez da água bruta chegou a atingir 10.000 uT na ETA SAMAE em horários pontuais do dia.

Tendo em vista que a quantidade de lodo gerada é fortemente influenciada pela precipitação, o mês de março de 2022, por ter sido o mais chuvoso do período analisado, foi utilizado como base para uma estimativa da quantidade máxima de lodo gerada no SAMAE. Esta estimativa foi feita pensando-se que, caso seja dimensionado um leito de secagem capaz de atender à demanda deste mês, este também atenderia, conseqüentemente, à demanda de lodo dos meses com menor precipitação de chuva.

Assim, a partir dos resultados dos parâmetros da água bruta para o mês de março apresentados na Tabela 1, estimou-se, pela Equação (1), a massa de sólidos secos produzida por volume de água tratada, obtendo-se um valor de, aproximadamente, 0,315 kg de sólidos secos por m<sup>3</sup> de água tratada.

Para facilitar o entendimento, os parâmetros operacionais da ETA no mês de março estão expressos na Tabela 2, na qual,  $n$  representa a eficiência,  $M_s$  é a massa de sólidos por unidade de tempo e  $Q$  é a vazão de água tratada por mês. Vale ressaltar que a vazão de água tratada expressa na Tabela 2 foi obtida por meio da quantidade de água tratada no mês em relação ao tempo de operação.

**Tabela 2 - Parâmetros operacionais da ETA para o mês de março de 2022.**

<b>Parâmetros</b>	<b>Valores</b>
$n$	1
$S(\text{kg}/\text{m}^3)$	0,315
$Q (\text{m}^3/\text{mês})$	386.078

**Fonte: Aatoria Própria (2022)**

Visando obter a massa de sólidos secos no lodo produzido pela ETA no mês de março de 2022, os valores da Tabela 2 foram aplicados na Equação (2), obtendo-se uma produção de 121.595,27 quilogramas de sólidos secos para o referido mês.

Santos et al. (2021) mostrou em seu estudo que, para o mesmo período do ano, a ETA João Ednaldo, localizada em Nossa Senhora do Socorro - SE, que também utiliza sulfato de alumínio como coagulante, obteve valores dos parâmetros turbidez, cor e dosagem de coagulante aproximados aos obtidos na ETA SAMAE, produzindo, aproximadamente, 115.000 kg de sólidos secos.

## **5.2 Proposta de leito de secagem e adensador**

No interior da empresa, ao lado dos decantadores da ETA, há dois terrenos disponíveis que poderiam ser utilizados para a construção do leito de secagem do efluente vindo dos decantadores. Com base no volume de efluente gerado e no menor investimento possível para a empresa, analisou-se a possibilidade de implementação do leito nestes espaços.

Inicialmente, a ideia de projeto era analisar a viabilidade de limpeza dos três decantadores ao mesmo tempo, mas posteriormente verificou-se que esta possibilidade não seria viável, já que, devido ao espaço físico disponível na empresa, não seria possível atender a demanda dos 3 decantadores, cujo volume é de aproximadamente 900 m<sup>3</sup> de efluente por mês.

Analisando o alto volume de efluente a ser tratado, pensou-se, então, na implementação de um adensador, que tem como objetivo reduzir o volume do efluente a ser seco no leito pela redução da quantidade de água e a consequente concentração de sólidos. Logo após o adensador, a água clarificada retornaria para a entrada de água bruta, sendo novamente tratada e o lodo concentrado poderia ser disposto nos leitos de secagem. Estimou-se que, para a construção do adensador, mantendo os parâmetros de operação mensal, seria necessária uma área de aproximadamente 450 m<sup>2</sup>, de forma que necessitaria manter um volume de 900 m<sup>3</sup> considerando uma altura



de 2 metros. Novamente, tendo em vista que essa área não está disponível no interior da empresa, concluiu-se que esta alternativa, no momento, também é inviável.

Considerando a possibilidade de implementação de um leito de secagem para o lodo gerado nos decantadores do SAMAE, estima-se, de acordo com os dados já registrados pela empresa, que seria necessário um período de 15 dias de secagem para que o lodo possa, então, ser encaminhado para a destinação final.

Sendo assim, propõe-se que a secagem do lodo seja realizada por bateladas, de forma que a limpeza dos decantadores seja realizada de forma alternada, a cada 15 dias aproximadamente, proporcionando um tempo de secagem do lodo antes da próxima limpeza.

Partindo do princípio de que a limpeza dos decantadores seja realizada a cada 15 dias, já que este é o tempo estimado para secagem do lodo no leito, seriam necessárias 24 lavagens anuais. Além disso, sabendo que o volume anual de efluente gerado nos três decantadores é de cerca de 10.800 m<sup>3</sup> e considerando a área disponível na empresa, estimou-se que, para comportar o descarte do lodo, o leito de secagem deve ter uma profundidade de 1,5 metros.

A Tabela 3 apresenta um resumo dos parâmetros estimados para calcular a área que seria necessária para a construção do leito de secagem.

**Tabela 3 - Parâmetros para estimativa do leito de secagem.**

Parâmetros	Valores
Volume anual - $V$ (m <sup>3</sup> )	10.800
Número de lavagens anuais - $np$	24
Altura útil do leito - $h$ (m)	1,5

**Fonte: Aatoria Própria (2022)**

Com base nos parâmetros apresentados pela Tabela 3 e aplicando-os na Equação (3), estima-se que a área ideal para a implementação de um leito de secagem seria de, aproximadamente, 300 m<sup>2</sup>.

Analisando-se as possibilidades de utilização de espaço no SAMAE, verificou-se que, no interior da ETA, há uma área disponível de, aproximadamente, 420 m<sup>2</sup> divididos em dois espaços que poderiam ser utilizados com esta finalidade. Para que isso seja possível, o efluente oriundo do decantador deve ser transportado até o leito de secagem por gravidade, com o auxílio de canaletas já presentes na empresa. Dessa forma, conclui-se que, dentro da empresa, há espaço suficiente para abrigar o leito proposto, com capacidade de secar, a cada 15 dias, o lodo gerado em cada batelada de limpeza dos decantadores. A Figura 8 apresenta uma imagem aérea da

empresa, indicando em vermelho os locais disponíveis para a construção dos leitos de secagem.

**Figura 8 – Sugestão da área do leito de secagem.**



Fonte: Google Maps (2022)

Rodrigues (2016) analisou a viabilidade técnica e econômica de um leito de secagem de lodo gerado no tratamento de drenagem ácida de mina, onde dimensionou-se um leito de secagem de 480 m<sup>2</sup>. Para este projeto, foram estimados custos pelos métodos CAPEX e OPEX e os resultados são apresentados pela Tabela 4.

**Tabela 4 - Análise de viabilidade econômica leito de secagem.**

<b>CAPEX</b>	<b>Valor (R\$)</b>
Argila	58.867,00
Seixo de rio até 4"	8.840,00
Macadame/Rachão (brita4")	1.224,00
Bidim	359,00
Tubos de 12" PVC	4.540,00
Curva de 90° tubo de PVC	504,00
Gramma em leiva	2.035,00
<b>OPEX</b>	
Mão de obra	2.000,00
Manutenção (valor mensal, maquinas, bombas)	2.500,00
<b>TOTAL</b>	<b>80.869,00</b>

Fonte: Aatoria Própria (2022)

Com base nos resultados encontrados na literatura, o custo estimado para construção de um leito de 480 m<sup>2</sup> é de, aproximadamente, R\$ 80.869,00. Portanto, utilizando como base os resultados encontrados, estima-se que os custos para a implementação do leito de secagem na ETA do SAMAE, considerando uma área de aproximadamente 300 m<sup>2</sup>, seria de, aproximadamente, R\$ 51.000.

Após definida a proposta de secagem do lodo, sugere-se realizar a sua destinação para a área de silvicultura. Para isso, um dos fatores a ser considerado, é a logística para que o lodo seco chegue até o local de destino. Como alternativas já discutidas, há a possibilidade de contratação de empresas terceirizadas ou, até mesmo, buscando otimizar custos e lembrando que o SAMAE é um órgão municipal, pode-se verificar a disponibilidade de o próprio município fazer o encaminhamento do material para viveiros públicos ou armazéns que tenham interesse em utilizar essa matéria-prima, juntamente com solos e substratos, para a produção de mudas de plantas que podem ser inseridas no município.

### 5.3 Análises dos parâmetros físicos

Os resultados obtidos a partir das análises dos parâmetros físicos do lodo da ETA, referentes à umidade, sólidos totais, sólidos fixos, sólidos voláteis e pH são apresentados na Tabela 5.

**Tabela 5 - Resultados dos parâmetros do lodo da ETA.**

Umidade (%)	89,805
Sólidos Totais (%)	10,195
Sólidos Fixos (%)	83,461
Sólidos Voláteis (%)	16,539
pH	7,0

**Fonte: Autoria Própria (2022)**

Analisando os resultados da Tabela 4, pode-se observar que a umidade do lodo ficou em torno de 89,80% enquanto o teor de sólidos totais representa, aproximadamente, 10,20% da amostra. Deste total, os sólidos fixos correspondem a cerca de 83,46% e os sólidos voláteis constituem 16,54%. Por fim, para o parâmetro pH, obteve-se um valor próximo de 7, o que representa um valor neutro para a amostra analisada.

Diversos autores já analisaram os mesmos parâmetros físicos no lodo de ETA e propuseram aplicações semelhantes à proposta deste trabalho. Alguns, sugerem que o lodo seja misturado a um substrato, que seria capaz de aumentar ainda mais os benefícios para a aplicação proposta. À título de comparação, a Tabela 6 apresenta uma relação dos resultados das análises dos mesmos parâmetros em outros estudos.

Tabela 6 – Análises físicas de acordo com diversos autores.

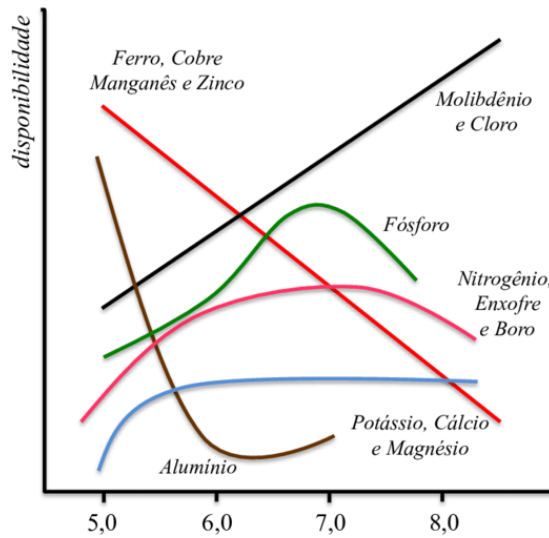
Aplicação Proposta	Substrato	Umidade (%)	Sólidos Totais (%)	Sólidos Fixos (%)	Sólidos Voláteis (%)	pH	Referência
Silvicultura	--	89,80	10,20	83,46	16,54	7,00	Neste trabalho
Solo degradado para plantação de milho	Lodo de ETE	67,57	-	-	-	6,80	Bitencourt et al. (2020)
Planta Rosa do Deserto	Terra	-	17,00	-	-	-	Souza et al. (2019)
Mudas de eucalipto	Vermiculita, palha de arroz carbonizada e fibra de coco	-	-	-	-	6,37 6,89	Rocha et al. (2015)
Milho (Zea mays)	Turfa, corretivos, vermiculita, carvão vegetal e casca de pinus	88,90	-	-	-	6,70	Messias (2013)
Mudas de árvores nativas e exóticas	Casca de pinus, fibra de coco, vermiculita, minerais e agregantes	-	60,00	87,00	13,00	5,80	Neto (2011)

Fonte: Autoria Própria, (2022).

Com base nos resultados obtidos pela Tabela 5, observa-se que o lodo da ETA é compatível com as amostras analisadas da literatura. O parâmetro pH é um dos fundamentais para aplicação na silvicultura e no caso do lodo do SAMAE, possui um valor neutro, o que faz com que o mesmo possa ser utilizado em conjunto com o solo com o objetivo de diminuir a acidez do solo.

O pH possui uma associação direta com disponibilidade de nutrientes, consequentemente, auxilia no desenvolvimento da planta. A faixa ideal para pH para as plantas varia entre 6 e 7. Solos com pHs menores que 5,5 são considerados solos ácidos e para valores maiores que 7, são considerados alcalinos. A Figura 9 apresenta uma relação do pH do solo com a disponibilidades dos nutrientes (BRANDANI, 2016).

**Figura 9 – Relação do pH do solo com a disponibilidade de nutrientes.**



Fonte: Brandani, 2016.

Relacionando ainda os dados apresentados na Tabela 5 com o gráfico apresentado na Figura 9, observa-se que, em pHs na faixa de 6 a 7, alguns nutrientes essenciais para as plantas como o nitrogênio, enxofre, boro, fósforo, potássio, cálcio e magnésio atingem seu valor máximo de disponibilidade. Pelos dados da Tabela 5, observa-se que os resultados de pH obtidos nos estudos utilizados como referência são muito próximos do obtido no lodo da ETA SAMAE, o que reforça a ideia de que este lodo pode ser aplicado na silvicultura.

Também é possível observar um valor abaixo para a umidade encontrada por Bitencourt et al. (2020). Essa diferença pode estar associada tanto ao método de coleta como ao método de análise adotado. Neto (2011) encontrou valores para sólidos totais que divergiram dos encontrados experimentalmente e do encontrado por Souza et al. (2019), o qual também pode estar relacionado com o tipo de substrato utilizado.

#### **5.4 Análises de macro e micronutrientes**

Devido a algumas limitações experimentais, os resultados referentes aos macros e micronutrientes não puderam ser obtidos por uma análise direta do lodo do SAMAE. No entanto, para que a viabilidade de destinação na silvicultura pudesse ser avaliada, buscou-se fazer um levantamento, por meio de pesquisa bibliográfica, para identificar quais são os níveis destes parâmetros que geralmente são encontrados em

lodos de ETA. A Tabela 7 apresenta os resultados encontrados nos trabalhos dos mesmos autores já citados no item anterior.

**Tabela 7 – Resultados das análises de macro e micronutrientes para o lodo de ETA.**

Parâmetros	Resultados / unidade				
	Bitencourt et al. (2020)	Souza et al. (2019)	Rocha et al. (2015)	Messias (2013)	Neto (2011)
Nitrogênio	2,59 %	5 mg/kg	-	0,72 %	-
Fósforo	0,34 mg/kg	2,106 mg/kg	0,25 – 845,88 mg/dm <sup>3</sup>	1,13 %	1.335 mg/kg
Potássio	0,20 mg/kg	-	53 – 1.143 mg/dm <sup>3</sup>	0,25 %	3.554 mg/kg
Cálcio	1,05 mg/kg	-	613,224 – 2.725,44 mg/dm <sup>3</sup>	0,63 %	1.413 mg/kg
Magnésio	0,19 mg/kg	-	48,624 – 1.023,54 mg/dm <sup>3</sup>	0,27 %	690 mg/kg
Enxofre	0,22 mg/kg	-	-	0,26 %	-
Boro	2,0	-	-	-	37,2 mg/kg
Cloro	-	-	-	-	-
Cobre	19 mg/kg	-	0,192 – 5,261 mg/dm <sup>3</sup>	-	58 mg/kg
Ferro	7.660,73 mg/kg	-	31 – 89 mg/dm <sup>3</sup>	-	29.000 mg/kg
Manganês	-	-	37,7 – 753,5 mg/dm <sup>3</sup>	-	1.215 mg/kg
Molibdênio	-	-	-	-	-
Níquel	-	-	-	-	37 mg/kg
Zinco	52 mg/kg	-	-	-	104 mg/kg

Fonte: Autoria Própria, (2022).

Neto (2011) analisou o desenvolvimento de plantas nativas, cultivadas em viveiro utilizando o lodo de ETA no substrato. Ao analisar a escassez de nitrogênio e fósforo nas amostras de lodo, verificou a necessidade de acrescentar um substrato NPK, que é composto por Nitrogênio, Fósforo e Potássio, que deve ser somado também com uma parte de solo. Dessa forma, o autor concluiu que o método de destinação proposto, em conjunto com outros métodos, mostrou-se uma alternativa de destino de lodo para ETAs, tanto das grandes cidades como das que possuem menor produção de lodo, podendo gerar renda para viveiros e incentivos a produção.

Rocha et al. (2015) realizou estudos de viabilidade de utilização de lodo da ETA do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - Campus São João Evangelista (IFMG – SJE) na composição do substrato de mudas de eucalipto. O substrato foi composto por vermiculita, palha de arroz carbonizada e fibra de coco 2/2/1 em volume, onde as concentrações de substrato são apresentadas pela Tabela 8.

**Tabela 8 - Concentração de substratos em cada tratamento proposto.**

Tratamento	Composição (%)
1	Substrato 100
2	Substrato 90 + lodo 10
3	Substrato 80 + lodo 20
4	Substrato 70 + lodo 30
5	Substrato 60 + lodo 40
6	Substrato 50 + lodo 50
7	Substrato 40 + lodo 60
8	Substrato 30 + lodo 70
9	Substrato 20 + lodo 80
10	Substrato 10 + lodo 90
11	lodo 100

Fonte: Rocha et al. (2022)

O autor concluiu que, levando em consideração sobrevivência, parte aérea e o sistema radicular, os tratamentos em concentrações de lodo de até 50% são viáveis, do ponto de vista técnico, econômico e ambiental, e ainda, torna-o uma alternativa de disposição para fortalecimento de mudas de eucalipto.

Souza (2011) analisou o cultivo de rosa do deserto utilizando lodo de ETA e solo comum. Com base no resultado apresentados pelo autor, observa-se que a quantidade de nitrogênio e fósforo são próximas às do solo avaliado, o cultivo da planta rosa do deserto foi bem sucedido, de forma que as proporções de lodo:terra 1:4 e lodo:terra 1:1 obtiveram os melhores resultados de crescimento. Sendo assim, o autor conclui que o lodo da ETA pode ser misturado com o solo para o plantio de mudas.

No trabalho de Bitencourt et al. (2020), o autor realizou estudos para avaliar a toxicidade do lodo associado ao bagaço e vinhaça de cana de açúcar na germinação e crescimento inicial de milho (*Zea mays L.*). Foram preparadas amostras onde o composto foi incorporado ao solo nas doses de 0; 1; 10 e 100 de composto/solo (g/kg). Com base nos resultados obtidos, o autor concluiu que a dose de 100 g/kg promoveu reduções no comprimento de parte aérea, aumento no crescimento das raízes e pode ter ocasionado deficiência nutricional e de estresse salino, porém, a dose de 10 g/kg proveu bons resultados tornando-se viável a sua utilização.

Messias (2013), em seu estudo de “Avaliação ecotoxicológica de lodo gerado por estações de tratamento de água”, determinou que, quando agregado a um substrato composto de turfa, corretivos, vermiculita, carvão vegetal e casca de pinus, devido à menor toxicidade do lodo agregado ao substrato, essa pode ser uma boa alternativa de utilização para o cultivo de milho (*Z. mays*), contanto que as aplicações em solos agrícolas sejam controladas.

Com base em todos os resultados avaliados e comparados neste trabalho, observa-se que, quando houver necessidade, o lodo é capaz de contribuir para elevação do pH do solo, além de possuir os níveis adequados de umidade e sólidos totais, o que é benéfico para a destinação proposta. Porém, quando utilizado puro, pode apresentar deficiência em alguns nutrientes. Neste caso, haveria interferência no crescimento das plantas, inviabilizando sua aplicação na silvicultura. Uma alternativa que pode ser viável para contornar essa deficiência é a adição de um substrato, de forma a complementar os nutrientes faltantes.

Diante do exposto neste trabalho, tendo em vista a possibilidade de construção do leito de secagem no espaço já disponível na empresa, além de que o SAMAE se dispõe a contratar empresas terceirizadas ou o setor que coleta de resíduos do município para que faça a logística do lodo seco até o local indicado, pode-se inferir que a destinação deste material para a silvicultura, como uma matéria-prima para viveiros da cidade, é uma alternativa viável para a geração de renda e retorno financeiro à empresa, contribuindo com a economia circular, atendendo às legislações vigentes e contribuindo para uma melhor qualidade nas companhias de saneamento.



## 6 CONCLUSÃO

Com base nos resultados abordados e discutidos, pode-se concluir que os objetivos deste trabalho foram alcançados com sucesso, uma vez que, foi possível propor uma destinação para o lodo gerado nos decantadores da Estação de Tratamento de Água do Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto da cidade de Ibiporã, Paraná.

Com base na quantidade de lodo gerado na ETA do SAMAE, o leito de secagem foi dimensionado considerando-se que o processo seja realizado em batelada, a cada 15 dias, o que demanda uma área de, aproximadamente, 300 m<sup>2</sup> e uma profundidade de 1,5 metro. Tais dimensões permitiriam a utilização de um espaço já existente na empresa, não sendo necessário, portanto, grandes investimentos em compra ou realocação de novos espaços.

Dentre as diversas formas de aplicações do lodo, a possibilidade indicada neste trabalho foi na área de silvicultura, visto que o lodo pode elevar os valores de pH do solo, aumentando a disponibilização de nutrientes que acarretam em um melhor desenvolvimento da planta.

Os resultados referentes aos parâmetros físicos indicaram que o lodo gerado na ETA SAMAE possui as características indicadas de pH, umidade e sólidos para a aplicação proposta.

Além disso, por meio das pesquisas bibliográficas, foi possível constatar também, que em relação aos parâmetros de macro e micronutrientes o lodo possui determinadas quantidades de nutrientes fundamentais para as plantas, porém, em alguns casos pode haver a necessidade de complementação nutricional utilizando substratos.

Desta forma, foi possível concluir que o dimensionamento do leito de secagem e a proposta de aplicação na silvicultura mostraram-se como alternativas eficientes para a destinação do lodo gerado, trazendo benefícios para a empresa, inclusive financeiros, além de resultar em uma importante contribuição para o meio ambiente.

## REFERÊNCIAS

ACHON, Cali Laguna; BARROSO, Marcelo Melo; CORDEIRO, João Sérgio. Resíduos de estações de tratamento de água e a ISO 24512: desafio do saneamento brasileiro. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 18, p. 115-122, 2013. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/esa/a/ZXVPPthHjP6NZ6HgN8rMD7s/?format=pdf&lang=pt>.

Acesso em 20 set. 2021.

ACHON, Cali Laguna; CORDEIRO, João Sérgio. Destinação e disposição final de lodo gerado em ETA-Lei 12.305/2010. **ASSEMBLEIA NACIONAL DO ASSEMAESANEAMENTO AMBIENTAL: POLÍTICAS INTEGRADAS COM PARTICIPAÇÃO SOCIAL**, v. 45, 2015. Disponível em:

<https://trabalhosassemoe.com.br/sistema/repositorio/2015/1/trabalhos/103/151/t151t1e1a2015.pdf>. Acesso em 07 nov. 2022.

ALMANÇA, Fernanda. **Compostagem: o que é e quais os benefícios que a prática pode trazer aos municípios brasileiros?**. 2020. Disponível em:

<https://www.gove.digital/outras-tematicas/compostagem-como-politica-publica/#:~:text=A%20t%C3%A9cnica%20da%20compostagem%2C%20assim,final%20ambientalmente%20adequada%20no%20art..> Acesso em 08 nov. 2022.

ANICER - Associação Nacional da Indústria Cerâmica. **A cerâmica vermelha do Brasil**. 2014. 2p. Disponível em: [https://www.anicer.com.br/wp-content/uploads/2014/08/Release\\_Sector.pdf](https://www.anicer.com.br/wp-content/uploads/2014/08/Release_Sector.pdf). Acesso em 07 nov. 2022.

APHA (2012). *Standard Methods for the examination of water and wastewater*. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, 23<sup>th</sup> ed. Washington. Disponível em: <http://yabesh.ir/wp-content/uploads/2018/02/Standard-Methods-23rd-Perv.pdf>. Acesso em 10 set. 2022.

ARAÚJO, Flávio de Carvalho et al. Caracterização física do resíduo de uma estação de tratamento de água para sua utilização em materiais de construção. **Cerâmica**, v. 61, p. 450-456, 2015. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/ce/a/BTBfrkPkhLdRq8SYZqPnSWj/?format=pdf&lang=pt>.

Acesso em 28 set. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457: Amostras de solo — Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização.** Rio de Janeiro. 2016.

BITENCOURT, Gislayne et al. Lodo gerado em Estação de Tratamento de Água: Avaliação preliminar da toxicidade em plantas de milho. **Scientia Plena**, v. 16, n. 12, 2020. Disponível em: <https://www.scientiaplena.org.br/sp/article/view/5930/2357>. Acesso em 08 nov. 2022.

BITTENCOURT, Simone et al. Aplicação de lodos de estações de tratamento de água e de tratamento de esgoto em solo degradado. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 17, p. 315-324, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/ij/esa/a/RxJFBX3ntCZqSVpxw57kjZG/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em 27 set. 2021.

BOTERO, Wander Gustavo et al. Caracterização de lodo gerado em estações de tratamento de água: perspectivas de aplicação agrícola. **Química nova**, v. 32, p. 2018-2022, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/ij/qn/a/r5xt9hQk9FWqD6ztcyhrpfy/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em 07 nov. 2022.

BRANDANI, Carolina. **Transformações do carbono no solo.** 2016. Disponível em: [https://www.researchgate.net/figure/Figura-23-Disponibilidade-de-nutrientes-em-diferentes-valores-de-pH-do-solo\\_fig3\\_311583797](https://www.researchgate.net/figure/Figura-23-Disponibilidade-de-nutrientes-em-diferentes-valores-de-pH-do-solo_fig3_311583797). Acesso em 08 nov. 2022.

BRASIL. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. **Plano Nacional de Saneamento Básico.** 2019. Disponível em: [https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSDRU/ArquivosPDF/Versao\\_Conselhos\\_Resolu%C3%A7%C3%A3o\\_Alta\\_-\\_Capa\\_Atualizada.pdf](https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSDRU/ArquivosPDF/Versao_Conselhos_Resolu%C3%A7%C3%A3o_Alta_-_Capa_Atualizada.pdf). Acesso em 09 set. 2021.

BRASIL. Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010.** Presidência da República, Departamento da Casa Civil. Brasília, 2010. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm). Acesso em 07 nov. 2022.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011.** Disponível em:

[conama.mma.gov.br/?option=com\\_sisconama&task=arquivo.download&id=627](http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=627).

Acesso em 22 set. 2022.

CORDEIRO, J. S. Importância do tratamento e disposição adequada dos lodos de ETAs. In: PROSAB-2. **Noções gerais do tratamento e disposição final de lodo de estação de tratamento de água.** Rio de Janeiro: ABES, 1999. Capítulo 1. p. 1-18.

Disponível em: <http://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/prosabrealifinal.pdf>. Acesso em 27 set. 2021.

COSTA, A. J. C. **Análise de viabilidade da utilização de lodo de ETA coagulado com cloreto de polialumínio (PAC) composto com areia como agregado miúdo em concreto para recomposição de calçadas: estudo de caso na ETA do município de Mirassol / SP.** São Carlos, 2011. Disponível em:

[https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-11052011-095145/publico/COSTA\\_Alvaro.pdf](https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-11052011-095145/publico/COSTA_Alvaro.pdf). Acesso em 20 set. 2021.

CUNHA, T. J. F.; MENDES, A. M. S.; GIONGO, V. Matéria orgânica do solo. **Embrapa Semiárido-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2015. Disponível em:

<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1034986/1/Tony2015.pdf>. Acesso em 20 set. 2022.

DECHEN, Antonio Roque; NACHTIGALL, Gilmar Ribeiro. Elementos requeridos à nutrição de plantas. 2007. Disponível em:

<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/541704/1/92682007p.91132.pdf>.

Acesso em 08 nov. 2022.

DUARTE, Amanda Germano. Cimento Portland. Faculdade Doctum de João Monlevade 2017. Disponível em:

[https://www.academia.edu/34558656/CIMENTO\\_PORTLAND\\_PESQUISA?from=cover\\_page](https://www.academia.edu/34558656/CIMENTO_PORTLAND_PESQUISA?from=cover_page). Acesso em 07 nov. 2022.

FROTA, Thais Braga. Análise da viabilidade técnica-financeira de alternativas de processos para desidratação de lodos de estações de tratamento de água. 2020.

Disponível em:

<https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/214648/001118942.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 13 out. 2022.

GOOGLE MAPS. Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto, Cidade de Ibiporã, Paraná. 2022. Google®. Disponível em: [https://www.google.com/maps/place/SAMAE-Servi%C3%A7o+Aut%C3%B4nomo+Municipal+de+%C3%81gua+e+Esgoto/@-23.2717685,-51.0533857,156m/data=!3m1!1e3!4m10!1m2!2m1!1ssamae!3m6!1s0x94eb4728686a1039:0xee04162070203b12!8m2!3d-23.2716211!4d-51.0520942!15sCgVzYW1hZZIBFXdhGVyX3V0aWxpdHlfY29tcGFueeABAA!16s%2Fg%2F1tf1p\\_5y](https://www.google.com/maps/place/SAMAE-Servi%C3%A7o+Aut%C3%B4nomo+Municipal+de+%C3%81gua+e+Esgoto/@-23.2717685,-51.0533857,156m/data=!3m1!1e3!4m10!1m2!2m1!1ssamae!3m6!1s0x94eb4728686a1039:0xee04162070203b12!8m2!3d-23.2716211!4d-51.0520942!15sCgVzYW1hZZIBFXdhGVyX3V0aWxpdHlfY29tcGFueeABAA!16s%2Fg%2F1tf1p_5y). Acesso em 15 dez. 2022

GONÇALVES, Flávia et al. Incremento de lodo de ETA em barreiras impermeabilizantes de aterro sanitário. Revista Dae, v. 65, n. 205, p. 5-14, 2017. Disponível em: <http://doi.editoracubo.com.br/10.4322/dae.2016.018>. Acesso em: 27 set. 2021.

HOPPEN, Cinthya et al. Uso de lodo de estação de tratamento de água centrifugado em matriz de concreto de cimento portland para reduzir o impacto ambiental. Química Nova, v. 29, p. 79-84, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/KFFMtv8PdvtbF59mqzjdcCn/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em 20 set. 2021.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 3. ed. Campinas: Átomo, 2010. Disponível em: <https://docero.com.br/doc/e8sexv>. Acesso em: 13 set. 2021.

LUCON, I. M. Uso agrícola do lodo gerado em estação de tratamento de água. Instituto Agrônomo. Campinas, 2012. Disponível em: <http://www.iac.sp.gov.br/areadoinstituto/posgraduacao/repositorio/storage/pb1213110.pdf>. Acesso em 27 set. 2021.

MACHADO, LCGT et al. Avaliação do aproveitamento agrícola do lodo produzido na ETA Bolonha-RMB. In: **ICTR 2004-Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável**. 2004. p. 917-926. Disponível em: <https://www.ipen.br/biblioteca/cd/ictr/2004/ARQUIVOS%20PDF/09/09-026.pdf>. Acesso em 14 nov. 2022.

MEGDA, Cláudia R; SOARES, Leonardo V. ACHON, Cali L. **Propostas de Aproveitamento de Lodos Gerados em ETAs**. São Carlos: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005. Disponível em: <http://docplayer.com.br/20992766-l-019-propostas-de-aproveitamento-de-lodos-gerados-em-et.html>. Acesso em: 13 set. 2021.

MESSIAS, Tâmara Guindo. **Avaliação ecotoxicológica de lodo gerado por estação de tratamento de água**. 2013. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Disponível em: [https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/64/64135/tde-06082014-151425/publico/TamaraGuindoMessias\\_Tese.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/64/64135/tde-06082014-151425/publico/TamaraGuindoMessias_Tese.pdf). Acesso em 08 nov. 2022.

NETO, Abner et al. Utilização de lodo de estação de tratamento de água na produção de mudas de árvores com ocorrência no Cerrado. 2011. Disponível em: <https://repositorio.bc.ufg.br/tede/bitstream/tde/618/1/DissertacaoAbneFigueiredoNeto.pdf>. Acesso em 27 set. 2021.

PADILHA, Jean Carlos. Aplicação de lodos de tratamentos de água e esgoto em latossolos cultivados com milho e soja. Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2007. Disponível em: <https://www.acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/13675/DISSERTACAO-Jean%20Carlos%20Padilha.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 22 set. 2022.

PAIXÃO, Luciana. O que é Construção Civil? Clique e descubra já!. 2022. Disponível em: <https://www.aarquiteta.com.br/blog/construcao-civil/>. Acesso em 08 nov. 2022.

PARANÁ. **RESOLUÇÃO SEMA N°21/2009**. Disponível em: [https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos\\_restritos/files/documento/2020-11/resolucao\\_sema\\_21\\_2009\\_licenciamento\\_padroes\\_ambientais\\_saneamento.pdf](https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files/documento/2020-11/resolucao_sema_21_2009_licenciamento_padroes_ambientais_saneamento.pdf). Acesso em 16 set. 2022.

PINHEIRO, Bruno Carlos Alves; ESTEVÃO, Gustavo Matias; SOUZA, Débora Pinto. Lodo proveniente da estação de tratamento de água do município de Leopoldina, MG, para aproveitamento na indústria de cerâmica vermelha Parte I: caracterização do lodo. *Matéria* (Rio de Janeiro), v. 19, p. 204-211, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/D4MLs4BFYmXjVZsY555gFmg/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 27 set. 2021.

REALI, M. A. P; PATRIZZI, L.J. Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água. In: PROSAB. Rio de Janeiro: ABES. Capítulo 2. p. 27. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/prosabrealifinal.pdf>. Acesso em: 16 set. 2022.

RIBEIRO, F. L. M. Quantificação e caracterização química dos resíduos da ETA de Itabirito - MG. Ouro Preto, 2007. Disponível em: <https://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/2862/1/DISSERTA%c3%87%c3%83O%20Quantifica%c3%a7%c3%a3o%20Caracteriza%c3%a7%c3%a3o%20Qu%c3%admica.pdf>. Acesso em 20 set. 2021.

RICHTER, C.A. Tratamento de lodos de estações de tratamento de água. São Paulo: Editora Blucher, 2001. 9788521214854. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521214854/>. Acesso em: conjunto 2021.

ROCHA, Damião Noel et al. Utilização do lodo da estação de tratamento de água na produção de mudas de eucalipto. **Revista Agrogeoambiental**, v. 7, n. 3, 2015. Disponível em: [https://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/index.php/Agrogeoambiental/article/view/617/pdf\\_4](https://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/index.php/Agrogeoambiental/article/view/617/pdf_4). Acesso em 31 out. 2022.

RODRIGUES, Thays de Aguiar. Análise da viabilidade técnica e econômica de um leito de secagem de lodo gerado no tratamento de drenagem ácida de mina (DAM). 2016. Disponível em: <http://repositorio.unesc.net/bitstream/1/4739/1/Thays%20de%20Aguiar%20Rodrigues.pdf>. Acesso em 10 dez. 2022.

SALES, Almir; SOUZA, Francis R. “**Processo de preparação de compósito de peso leve, compósito assim preparado, uso e concreto de peso leve contendo o mesmo**”, PI 0504939-3, nov. 10, 2005. Disponível em: [https://www.inovacao.ufscar.br/pt-br/assets/arquivos/ficha\\_composito\\_leve.pdf/view](https://www.inovacao.ufscar.br/pt-br/assets/arquivos/ficha_composito_leve.pdf/view). Acesso em 20 set. 2021.

SANTOS, Lucas Avelino Reis; DE GOIS MICHELAN, Denise Conceição; JESUS, Taynar Mota. VERIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO DE LODO DE ETA EM FUNÇÃO DA

QUANTIDADE E DA QUALIDADE DA ÁGUA BRUTA. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 15, n. 2, p. 235-258, 2021. Disponível em: <https://seer.tupa.unesp.br/index.php/BIOENG/article/view/974>. Acesso em 19 out. 2022.

SCALIZE, Paulo Sérgio e DI BERNARDO, Luiz. Caracterização da água de lavagem de filtros rápidos de estações de tratamento de água e dos sobrenadantes e sedimentos obtidos após ensaios de clarificação utilizando polímero aniônico. 2000, Anais. Porto Alegre: AIDIS/ABES, 2000. Disponível em: [https://www.academia.edu/1035083/Caracteriza%C3%A7%C3%A3o\\_da\\_%C3%A1gua\\_de\\_lavagem\\_de\\_filtros\\_r%C3%A1pidos\\_de\\_esta%C3%A7%C3%B5es\\_de\\_tratamento\\_de\\_%C3%A1gua\\_e\\_dos\\_sobrenadantes\\_e\\_sedimentos\\_obtidos\\_ap%C3%B3s\\_ensaios\\_de\\_clarifica%C3%A7%C3%A3o](https://www.academia.edu/1035083/Caracteriza%C3%A7%C3%A3o_da_%C3%A1gua_de_lavagem_de_filtros_r%C3%A1pidos_de_esta%C3%A7%C3%B5es_de_tratamento_de_%C3%A1gua_e_dos_sobrenadantes_e_sedimentos_obtidos_ap%C3%B3s_ensaios_de_clarifica%C3%A7%C3%A3o). Acesso em 07 nov. 2022.

SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. Cerâmica vermelha: panorama do mercado no Brasil. Sebrae, 2015. 5 p. Disponível em: [https://bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS\\_CHRONUS/bds/bds.nsf/b877f9b38e787b32594c8b6e5c39b244/\\$File/5846.pdf](https://bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/b877f9b38e787b32594c8b6e5c39b244/$File/5846.pdf). Acesso em 07 nov. 2022.

SENGIK, Erico S. Os macronutrientes e os micronutrientes das plantas. **Núcleo Pluridisciplinar de pesquisa e estudo da cadeia produtiva o leite**, p. 22, 2003. Disponível em: <http://www.nupel.uem.br/nutrientes-2003.pdf>. Acesso em 12 set. 2022.

SILVA, E.T.; MELO, W.J.; TEIXEIRA, S.T. Chemical attributes of a degraded soil after application of water treatment sludges. **Scientia Agricola**, Piracicaba, 2005, vol.62, n.6, pp. 559-563. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sa/a/bvWm8NLwCz4y5KvLsYFXWnN/?format=pdf&lang=en>. Acesso em 08 nov. 2022.

SOUZA, Valdir Moreira et al. III-353-ESTUDO DO LODO DE ETA MISTURADO COM TERRA COMO SUBSTRATO PARA A PLANTA ORNAMENTAL ROSA DO DESERTO. 2019 Disponível em: <https://abesnacional.com.br/XP/XP-EasyArtigos/Site/Uploads/Evento45/TrabalhosCompletoPDF/III-353.pdf>. Acesso em 15 set. 2021.

TEIXEIRA, Sandra Tereza; MELO, Wanderley José de; SILVA, Érica Tome da. Aplicação de lodo da estação de tratamento de água em solo degradado. Pesquisa



Agropecuária Brasileira, v. 40, p. 91-94, 2005. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/27358/S0100-204X2005000100013.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 27 set. 2021.

UNITED NATIONS. **Resolution adopted by the General Assembly on 28 July 2010.** Disponível em: <https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N09/479/35/PDF/N0947935.pdf?OpenElement>. Acesso em: 09 set. 2021.

VALVERDE, Sebastiao Renato. Silvicultura brasileira: oportunidades e desafios da economia verde. 2012. Disponível em: [https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/14985/1/Silvicultura%20brasileira\\_P.pdf](https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/14985/1/Silvicultura%20brasileira_P.pdf). Acesso em 14 nov. 2022.

VITORINO, J. P. D.; MONTEIRO, S. N.; VIEIRA, C. M. F. Caracterização e incorporação de resíduos provenientes de Estação de Tratamento de Água em cerâmica argilosa. Cerâmica, v. 55, p. 385-392, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ce/a/7LpmsSCK7XYqyXnvnGFC6mK/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em 28 set. 2021.

## APÊNDICE

### ▪ Metodologia para Análise de Sólidos - 2540

Primeiramente, pesou-se os cadinhos previamente secos, em seguida colocou-se 100 mL da amostra. Posteriormente, levou-se a amostra para a estufa a 105°C por 24 horas. Depois deste período, encaminhou-se os cadinhos com as amostras secas para o dessecador e esperou-se a temperatura atingir a temperatura ambiente. Depois pesou-se os cadinhos com as amostras secas e anotou-se a massa. Para os resultados de sólidos totais, utilizou-se a Equação 4.

$$\text{Sólidos Totais (mg/L)} = \frac{A-B}{\text{volume da amostra (mL)}} 1000 \quad (4)$$

Onde,

$A$  = Massa do cadinho + amostra seca (mg);

$B$  = Massa da amostra seca (mg).

Para a análise de sólidos voláteis e sólidos fixos, colocou-se a amostra na mufla a temperatura de 550°C por uma hora. Após esse tempo, a amostra foi pesada e determinou-se os resultados de sólidos voláteis e fixos com base nas Equações 5 e 6, respectivamente.

$$\text{Sólidos Voláteis (\%)} = \frac{(B-C)}{B} 100 \quad (5)$$

$$\text{Sólidos Fixos (\%)} = 100 - \text{Sólidos Voláteis (\%)} \quad (6)$$

Onde,

$C$  = Massa da amostra seca em temperatura de 550°C (mg).

### ▪ Metodologia para Análise de Umidade

A análise de umidade foi realizada pesando-se uma determinada quantidade da amostra, em seguida levou-se para a estufa em aproximadamente 105°C por 24 horas. Ao final, pesou-se a amostra seca e para a determinação da umidade aplicou-se a Equação 7.

$$\text{Umidade (\%)} = 100 - \left( \frac{B}{D} 100 \right) \quad (6)$$

Onde,

$D$  = Massa da amostra úmida (mg).

- **Metodologia para Análise pH – 4500 - H<sup>+</sup>**

Inicialmente calibrou-se o equipamento utilizado as soluções padrões de pH 7 e pH 4. Em seguida, colocou-se aproximadamente 40 mL da amostra de material em um recipiente e imergiu-se no eletrodo. Aguardou-se a estabilização do equipamento e anotou-se o resultado.